НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ВИРОБНИЧО-ПРАКТИЧНИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЗБІРНИК

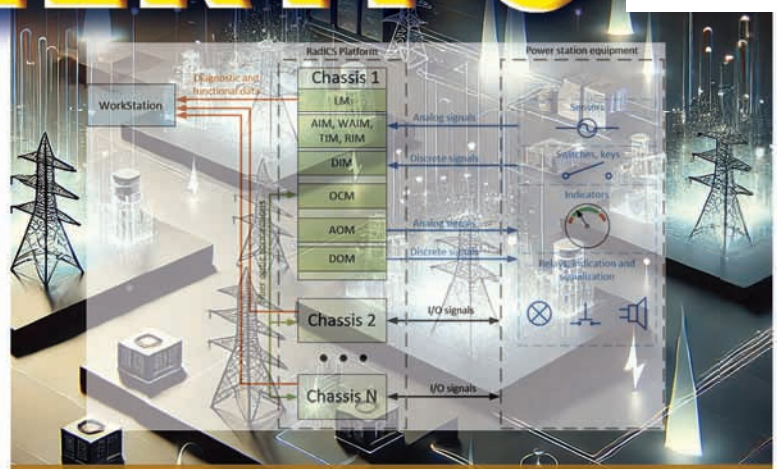
«ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

# ПРОМЕЛЕКТРО

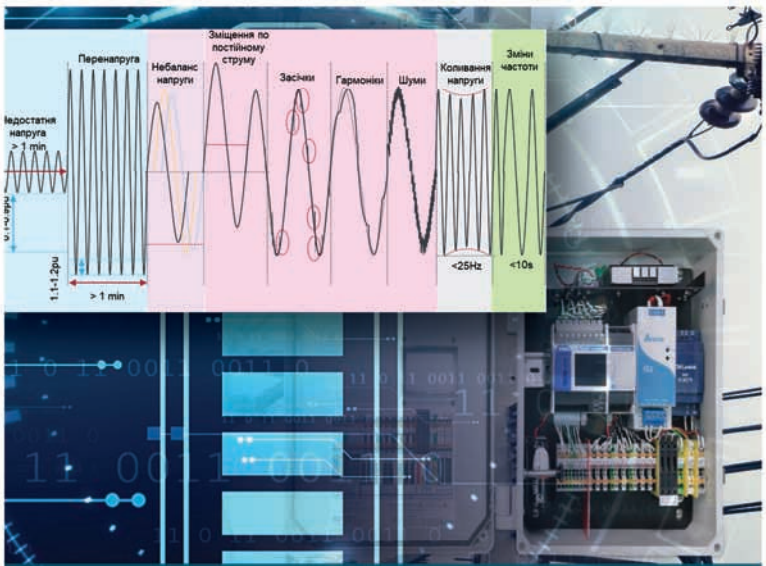
ISSN 2409-2924

PROMELEKTRO.COM.UA

ЩОДО ЕЛАСТИЧНОСТІ МУЛЬТИАГЕНТНИХ MICROGRID с. 10




RADIY: ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА БЕЗПЕКИ В ПРОМИСЛОВОСТІ с. 18




МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ с. 26

НОВА РЕДАКЦІЯ “НАСТАНОВИ З ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ” 2025 РОКУ с. 76

XXII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВОСТІ ’2025
14–16 жовтня

1
2025
травень

ВИДАЄТЬСЯ З 1995 РОКУ • ПЕРЕДПЛАТНИЙ ІНДЕКС 22859

VII Міжнародна спеціалізована виставка
низьковольтної електротехніки
та електроніки

# ELECTRO INSTALL 2025

## Жовтень 14–16


**МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**

Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15
тел.: +38 (095) 268-05-84
e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua

# ТОВ “ЕЛЕТЕР — 23”

ЄДРПОУ 39301468
02094, м. Київ, вул. Магнітогорська, 2
Тел.: +380 50 311 37 83
+380 50 311 40 51

E-mail: **eleter23@i.ua**

Підприємство професійно займається розробленням і впровадженням електричних кабельних систем опалення та антикригових систем в процесі будівництва і реконструкції.

1. **Комфортне електроопалення “Тепла підлога” в житлових та громадських будівлях, понад 6000 систем, серед яких:**
   - Михайлівський Золотоверхий монастир в м. Києві;
   - надземні споруди станції “Лук’янівська” київського метрополітену;
   - 15 станцій Київського метрополітену (Іподром, Виставковий центр, Васильківська, Деміївська, Голосіївська та інші)
   - житлові й громадські будівлі та споруди, окремі приміщення по всій Україні.

2. **Антикригові системи покрівель, понад 600 систем, серед яких:**
   - Успенський собор Києво-Печерської лаври;
   - Михайлівський Золотоверхий Собор в м. Києві;
   - Національна філармонія України;
   - Верховна Рада України;
   - Розрахункова палата в м. Києві;
   - Центральний і Південний вокзали м. Києва.

3. **Антикригові системи відкритих поверхонь (під’їзні шляхи і пішохідні доріжки, пандуси підземних паркінгів, виходи з підземних переходів, відкриті балкони) на площі понад 300 тис. м$^2$, серед яких:**
   - підігрів газонів футбольних полів: стадіон ім. В.В. Лобановського, м. Київ, стадіон ФК “Оболонь”, м. Київ, стадіон ФК “Ворскла”, м. Полтава;
   - підземні переходи Майдану Незалежності, вул. Хрещатик, Бессарабської площі, Севастопольської площі, Центральний і Південний вокзали м. Києва та ін.;
   - станції метро “Лук’янівська”, “Печерська”, “Шулявська”, “Дружби народів”, “Дорогожичі”.

4. **Промисловий обігрів технологічного обладнання (електрообігрів труб та резервуарів)**
   - Підігрів полу промислових морозильних камер на підприємстві ТОВ “Бейкері Фуд Індастрі”, смт Козелець Чернігівської області
   - Чотири цукрових заводи в Україні (трубопроводи та ємності);
   - Макіївський металургійний завод (обігрів трубопроводів зворотного водозабезпечення).

**УСПЕНСЬКИЙ СОБОР КИЄВО-ПЕЧЕРСЬКОЇ ЛАВРИ**
Системи електрокабельного опалення та антикриги

**КИЇВСЬКИЙ ЗАЛІЗНИЧНИЙ ВОКЗАЛ**
Антикригова система

**МАРІЇНСЬКИЙ ПАЛАЦ У КИЄВІ**
Система тепла підлога

**БУДИНОК “АРЕНА СІТІ В КИЄВІ”**
Антикригова система

**УТБ ФК “ДИНАМО” КИЇВ**
Система підігрівання поля

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ЗАПОВІДНИК “СОФІЯ КИЇВСЬКА”**
Система електрокабельного опалення

**ГІРСЬКОЛИЖНИЙ КУРОРТ БУКОВЕЛЬ**
Системи електрокабельного опалення та антикриги

**ЗАЛІЗНИЧНИЙ ВОКЗАЛ • СТАНЦІЯ “РОЗДІЛЬНА”**
Антикригова система

**ПЕРЕДПЛАТА ЖУРНАЛУ • ІНДЕКС 22859**

Відділення “Укрпошта”
Періодичність – 2 номери на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію:
серія КВ, № 2079 від 16.07.1996 р.

Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції:
серія ДК, № 5613 від 25.09.2017 р.

Суб’єкт у сфері друкованих медіа від 07.03.2024 р.
Ідентифікатор медіа – R30-02923

**ВИДАВЕЦЬ** ТОВ “ЕТІН”

**ДИРЕКТОР**
**Любич Мар’ян Орестович**

**РЕДАКТОР**
**Козенко Олександр Миколайович**
Директор ТОВ “ТПФ Донтехпром”

**НАУКОВИЙ РЕДАКТОР**
**Буткевич Олександр Федотович, д.т.н.**
**Професор.** Головний науковий співробітник Інститут електродинаміки НАН України

**ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ**
**Денисюк Сергій Петрович, д.т.н.**
Директор Інституту енергозбереження та енергоменеджменту
**Професор.** Кафедра електропостачання НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**ВИПУСКАЮЧИЙ РЕДАКТОР**
**Облакевич Сергій Вікторович**
Директор ТОВ “Альтіс-Енерго”
Корпорація Альтіс холдинг

**ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР**
**Чижик Павліна Андріївна**

**ФОТОКОРЕСПОНДЕНТ**
**Зубова Ольга В’ячеславівна**

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ**
ТОВ “ЕТІН”
03190, м. Київ, а/с № 15
**www.promelektro.com.ua**
**promelektro.etin@gmx.de**
**promelektro.etin@gmail.com**
+380 44 228 82 68

**КОР. ПУНКТ м. ЗАПОРІЖЖЯ**
ТОВ “ТПФ Донтехпром”
69118, м. Запоріжжя,
вул. Автозаводська, 50, оф. 147
**kozenko@3g.ua**
+380 50 470 18 38

**ОРИГІНАЛ-МАКЕТ ТОВ “ДІА”**
03022, м. Київ, вул. Васильківська, 45
**dia_1997@ukr.net**
+380 99 225 73 68

Рекомендовано до друку редакційною колегією, протокол № 1 від 26.05.2025 р.
Підписано до друку 28.05.2025 р.
Дата виходу номеру 30.05.2025 р.
Формат 60×84 1/8. Ум. друк. арк. – 7,91.
Обл. вид. арк. – 8,82.

© Промислова електроенергетика та електротехніка • №1 • 2025

2025 №1

# ЗМІСТ

**6 НОВИНИ**

6 Schneider Charge Pro запускає спрощений процес зарядки для прискорення впровадження електромобілей

8 Schneider Electric представляє новий єдиний бренд для універсальних шаф — PanelSeT

**10 ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ**

10 *Ворушило А.О.*
Щодо еластичності мультиагентних MICROGRID

**18 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ АСУ ТП**

18 *Леонтієв К.П.*
Radiy: Інноваційні рішення для автоматизації та безпеки в промисловості

**22 ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

22 *Бедерак Я.С.*
Теоретичні засади побудови автоматизованої системи технічного обліку електроенергії

26 *Бедерак Я.С., Подобайло М.О.*
Можливості автоматизованої системи технічного обліку електроенергії та автоматизованої системи контролю навантаження споживачів електроенергії

34 Нова технологія мікросинфазних вимірювань: історія та застосування

39 Синфазори microPMU

42 *Слинько В.М., Довгодько Ю.М., Сподинський О.В.*
Використання сучасних приладів та обладнання для моделювання інформаційних потоків миттєвих цифрових значень

**46 СВІТЛОТЕХНІКА**

46 *Єгорченков В.О.*
Принципи формування світлового середовища приміщень з нестандартними світильниками

**50 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК**

50 *Манілов А.М.*
Щодо способу виключення можливості непрямого дотику людини чи тварин до пошкодженої струмопровідної частини ізоляції в мережах напругою до 35 кВ

52 Сучасні системи протипожежного захисту для багатоповерхових, адміністративних та громадських будівель: рішення на базі приладу приймально-контрольного пожежного ППКП „КОДАС-АПС“ ВИКОНАННЯ 2 (v2)

**56 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

56 *Шестеренко В.Є., Чорний Ю.А.*
Коливання напруги в системах електрозабезпечення

**60 ПРОЄКТУВАННЯ ТА МОНТАЖ**

60 *Кузь О.Ф.*
Сучасні тенденції розвитку децентралізованих систем вентиляції

**68 ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ**

68 Оптико-емісійні спектрометри Bruker: гарантія якості металів та сплавів для енергетичної галузі

**72 ЕКОНОМІКА**

72 *Стасюк О.І., Слинько В.М.*
Цифровізація електроенергетики України — запорука успішного розвитку економіки нашої країни

**76 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА**

76 *Облакевич С.В.*
Нова редакція „Настанови з проєктування електропостачання промислових підприємств“ 2025 року

За достовірність інформації та реклами відповідальність несуть автори та рекламодавці.
Редакція може не поділяти точку зору авторів статей. Редакція зберігає за собою право редагувати і скорочувати зміст статей.
Надіслані матеріали не повертаються. Передрук та використання матеріалів можливе тільки з письмового дозволу редакції
Усі використані або згадані товарні знаки, марки належать їх законним власникам.
В оформлені використані інформаційні матеріали фірм-виробників, установ, підприємств.
Матеріали позначені знаком Р друкуються на правах реклами.
Претензії щодо якості реклами, строків публікації не приймаються.

## ПОНАД 1300 ПРОЄКТІВ ЗА 25 РОКІВ

# Донтехпром


**ТОВ “ТПФ Донтехпром”**

ЄДРПОУ 39530665
69118, м. Запоріжжя,
вул. Автозаводська, 50, офіс 147
+380 50 470 18 38
**kozenko@3g.ua**
**www.dontechprom.ua**


**ТОВ “ТПФ Донтехпром”** засновано в 1996 р. та за цей час стало одним із лідерів галузі, що підтверджується численними нагородами. Зокрема, рішенням Науково-експертної ради національної іміджевої програми “Лідери XXI століття” підприємство нагороджено Знаком якості “Вища проба” за високу якість послуг.

**“БОТІЄВСЬКА” ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ**
потужністю **200 МВт**
в с. Ботієве Приазовського району Запорізької області

**“ПРИМОРСЬКА” ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ**
потужністю **200 МВт**
в Приморському районі Запорізької області

**ЦЕХА ХАРЦИЗЬКОГО ТРУБНОГО ЗАВОДУ**

**“ЗБАГАЧУВАЛЬНА ФАБРИКА” ЗАТ “ДОНЕЦЬКСТАЛЬ МЗ”**

**МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ ПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ “COMFY”**

**61** супермаркет загальною площею **99 125 м²** в містах: Дніпро, Київ, Харків, Мелітополь, Білая Церков, Чернівці, Івано-Франківськ, Довжанськ Донецкої області

## ПОВНИЙ КОМПЛЕКС ПОСЛУГ З ПРОЄКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА

- Промислові підприємства
- Адміністративні та житлові будівлі
- Відкриті споруди
- Вітроелектростанції
- Сонячні електростанції
- Газотурбінні електростанції
- Малі гідроелектростанції
- Дизельні електростанції
- Когенераційні енергоблоки
- Підстанції на напругу 330 кВ, 220 кВ, 110 кВ, 35 кВ, 6–10 кВ
- Лінії електропередачі: повітряні та кабельні на напругу 330 кВ, 110 кВ, 35 кВ, 10 кВ, 0,4 кВ
- Системи автоматизації та диспетчеризації
- Системи зв’язку та передачі даних
- Системи телемеханіки та релейних захистів
- Системи безпеки та контролю доступу
- Системи кондиціювання, опалення, вентиляції
- Системи водопроводу, каналізації
- Системи АСКОЕ
- Системи АСУТП
- Системи ІТ та промислового телебачення
- Системи електропостачання та електроосвітлення
- Системи електроприводу технологічних ліній

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Гребченко Миколай Васильович, д.т.н. Професор.**
Зав. кафедри електропостачання
Національний університет біоресурсів
і природокористування України

**Фаренюк Геннадій Григорович, д.т.н., с.н.с.**
Директор ДП "Державний науково-дослідний
інститут будівельних конструкцій"
Голова ТК 302, Мінрегіон,
"Енергоефекитвність будівель і споруд"

**Сорокін Віктор Михайлович,**
**чл.-кор. НАН України, д.т.н. Професор.**
Заст. директора Інституту фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

**Калінчик Василь Прокопович, к.т.н., с.н.с. Доцент.**
Директор НДІ автоматики та енергетики "Енергія"
НТУУ "Київський політехнічний інститут"
Кафедра електропостачання
НТУУ "Київський політехнічний інститут"

**Квицинський Анатолій Олександрович, к.т.н. Доцент.**
Головний інженер
Науково-технічний центр електроенергетики
ДП "НЕК Укренерго"

**Слинько Володимир Мефодійович, к.т.н., с.н.с.**
Керівник науково-дослідного центру випробувань
засобів автоматизації в енергетиці
Інститут електродинаміки НАН України

**Тимченко Микола Петрович, к.т.н., с.н.с.**
Відділ високотемпературної термогазодинаміки.
Інститут технічної теплофізики НАН України

**Гапон Дмитро Анатолійович, к.т.н. Доцент.**
Кафедра автоматизації енергосистем
НТУ "Харківський політехнічний інститут"

**Ткаченко Сергій Миколайович, к.т.н. ФРН. Доцент.**
Декан німецького технічного факультету
Донецький національний технічний університет

**Любич Михайло Орестович, к.т.н. ФРН.**
Фахівець у галузі вітроенергетики

**Жабський Юрій Вікторович**
Директор ТОВ "Вінд Фарм"
Заслужений будівельник України

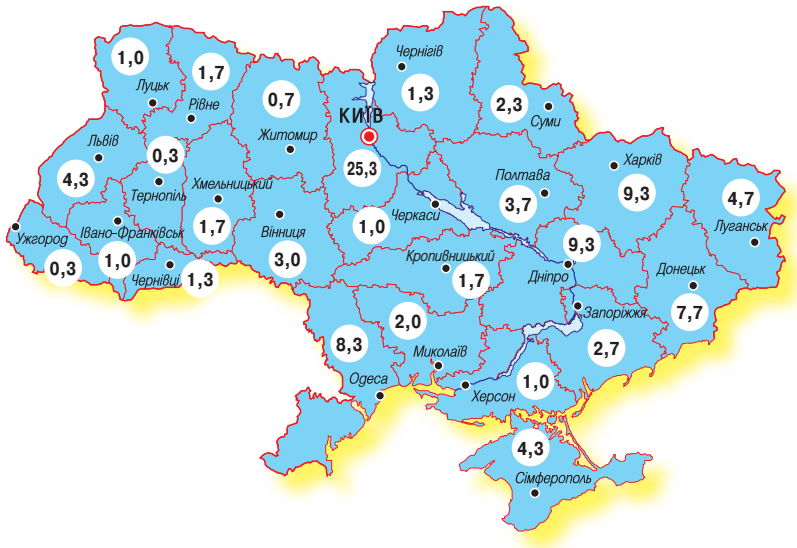
**Лубинський Борис Борисович**
Фахівець з правового забезпечення

**Беккерман Олександр Едуардович**
Заступник технічного директора,
керівник регіонального структурного підрозділу
ТОВ КК "Вітряні парки України"

**Петришин Богдан Михайлович**
Заслужений будівельник України

**Черкашин Ігор Юрійович**
Голова Громадського об'єднання
"Експертна платформа з енергоефективності"


## РОЗПОДІЛ ЧИТАЧІВ ЖУРНАЛУ, У ВІДСОТКАХ, ПО РЕГІОНАМ




## ЗБІРНИК ВИДАЄТЬСЯ ЗА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ТА СПІВПРАЦІ З НИЗКОЮ ОРГАНІЗАЦІЙ

ДП "НЕК Укренерго"
Інститут електродинаміки НАН України
Інститут технічної теплофізики НАН України
ДП "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій"
НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
НТУ "Харківський політехнічний інститут"
Донецький національний технічний університет
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
ХНТУМГ імені О.М. Бекетова
ТОВ "Вінд Фарм"
ТОВ "ТПФ Донтехпром"

АППАУ
АСОЦІАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ УКРАЇНИ

КБУ Конфедерація Будівельників України

Асоціація енергоаудиторів
Асоціація енергоаудиторів

UABIO
Біоенергетична асоціація України

АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ СВІТЛОДІОДНОЇ ТЕХНІКИ

УВЕА Українська вітроенергетична асоціація

## РУБРИКИ ЗБІРНИКА

Державна політика
Новини та події
Виробники України
Електричні мережі
Електричні станції
Підстанції та щитові
Електричні машини
Релейний захист
Автоматизація технологічних процесів АСУ ТП
Облік електроенергії
Світлотехніка
Блискавкозахист та заземлення
Електробезпека електроустановок
Відновлювана енергетика
Енергоефективність та енергозбереження
Інформаційна безпека
Проєктування та монтаж
Експлуатація та ремонт
Економіка
Наукові розробки
Нормативно-правова база
Запитання – Відповіді
Книжкова полиця

# МИ З ВАМИ

# ПЕРЕДПЛАТА 2025

# ІНДЕКС 22859

# ОБИРАЙ НАС

# SCHNEIDER CHARGE PRO ЗАПУСКАЄ СПРОЩЕНИЙ ПРОЦЕС ЗАРЯДКИ ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЕЙ

Life Is On | Schneider Electric

- **Відкрите рішення забезпечує швидкий монтаж та оптимізує процеси відшкодування, підтримуючи електрифікацію автопарку.**
- **Мінімізує перерви в постачанні електричної енергії для прискорення розвитку інфраструктури зарядки в багатоквартирних будівлях і приватних будинках.**
- **Віддалений моніторинг через один простий у використанні мобільний застосунок.**

**Schneider Electric,** лідер цифрової трансформації в галузі енергетичного менеджменту та автоматизації, запустила в Європі **Schneider Charge Pro**, надійне, енергоефективне рішення для заряджання електромобілів (EV), щоб прискорити впровадження електромобілів серед власників комерційних автопарків і багатоквартирних будинків. Відповідно до Директиви ЄС щодо енергоефективності будівель (EPBD), яка вимагає модернізації зарядних пристроїв для електромобілів до 2027 року, Schneider Charge Pro прагне усунути ключові перешкоди для зростання в складному та фрагментованому ринковому ландшафті як комплексне, доступне рішення для електромобільності.

Більше, ніж просто зарядна станція, Schneider Charge Pro — є частиною повністю інтегрованого готового рішення, яке спрощує процес заряджання від початку до кінця, полегшуючи операторам зарядних точок (CPO) і власникам будівель модернізацію або встановлення нових зарядних станцій для електромобілів, а електрикам — легкий і плавний процес встановлення. Це рішення також постачається з відкритим системним програмним забезпеченням, яке ефективно відстежує час заряджання, спрощуючи процес відшкодування CPO працівникам, які заряджають електромобілі, які є частиною автопарку житлового комплексу.

Це відкрите рішення доповнюють два нові продукти, призначені для швидкого та надійного доступу до зарядки електромобілів для автомобілів, фургонів та іншого електротранспорту. Рішення EVCE MFH, розроблене спеціально для багатоквартирних будинків, керує навантаженнями електроенергії в режимі реального часу, дозволяючи заряджати велику кількість електромобілів без перевантаження або порушення електропостачання для орендарів або

будівлі. Це підтримується новим хмарним інструментом віддаленого моніторингу, який дозволяє здійснювати попереднє введення в експлуатацію за межами підприємства та швидше вводити в експлуатацію на місці за допомогою єдиного інтуїтивно зрозумілого мобільного застосунку.

“*Оскільки ринок і нормативно-правове поле стрімко розвиваються, Schneider Electric продовжує лідирувати в новій енергетичній епосі*”, — зазначив **Надеж Петі**, директор з інновацій Schneider Electric. “*Schneider Charge Pro базується на нашій столітній спадщині інновацій у сфері енергоменеджменту, пропонуючи відкрите, доступне та ефективне рішення для заряджання електромобілів, розроблене для того, щоб дати можливість компаніям легко електрифікувати свої автопарки. Спрощуючи впровадження електромобілів для операторів автопарків, власників будівель, електриків і багатоквартирних будинків, ми забезпечуємо відповідність нормам ЄС, одночасно допомагаючи компаніям прискорити досягнення цілей електрифікації, рухатися вперед та здійснювати перехід до сталої енергетики*”.

Рішення для заряджання електромобілів **Schneider Charge Pro** тепер доступне у Франції, Україні та Гонконгу, а протягом року доступний для інших країн.

ЩОБ ОТРИМАТИ БРОШУРУ, ПЕРЕЙДІТЬ ЗА ЦИМ ПОСИЛАННЯМ:

**https://www.se.com/ua/uk/download/document/UAM-998-23749925_GMA-US/**

# SCHNEIDER ELECTRIC ПРЕДСТАВЛЯЄ НОВИЙ ЄДИНИЙ БРЕНД ДЛЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ ШАФ — PANELSET

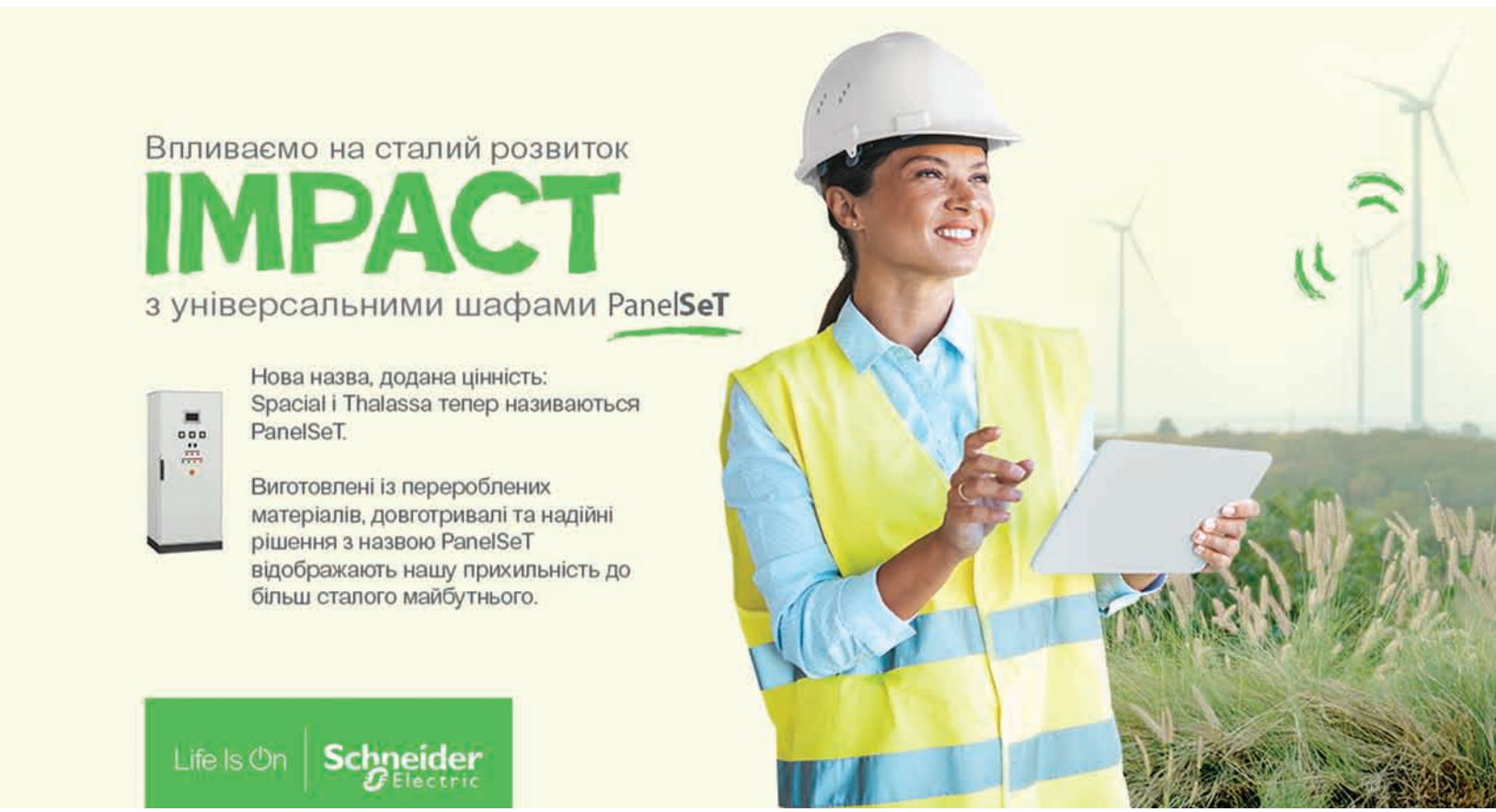
Life Is On | Schneider Electric

- **Історичні лінійки шаф Schneider Electric — Spacial та Thalassa — поступово перейменовуються на PanelSeT**
- **Новий брендинг доповнено новими перевагами у сфері сталого розвитку, що відповідають глобальній стратегії Schneider Electric — IMPACT**
- **Зміни розпочалися з запуску PanelSeT SFN — першої шафи із декарбонізованої сталі**

**Schneider Electric,** лідер цифрової трансформації в галузі енергетичного менеджменту та автоматизації, оголошує про важливий крок на шляху до сталого розвитку — запуск нового бренду **PanelSeT**.

Після нещодавнього запуску **PanelSeT SFN** — першої шафи із декарбонізованої сталі, яка зменшує викиди $CO_2$ на 34%, Schneider Electric продовжує перехід до більш екологічних рішень для електрощитового обладнання. Компанія створила єдиний бренд для всіх універсальних шаф, доповнивши його новими сталими цінностями, а також підвищеною гнучкістю, надійністю та ефективністю.

Протягом понад шістдесяти років корпуси **Spacial** та **Thalassa** забезпечують захист автоматики та електротехнічного обладнання, гарантуючи надійність процесів та безпеку персоналу за будь-яких умов експлуатації.



Від червня 2024 року сталеві та нержавіючі шафи Spacial, а також ізолюючі корпуси Thalassa поступово отримають нову ідентичність — PanelSeT.

PanelSeT стане єдиним брендом для всіх універсальних підлогових і настінних шаф, спеціально створених для складних промислових середовищ для застосування як у приміщенні, так і на відкритому повітрі.

Продукти PanelSeT будуть повністю інтегровані до преміум-лінійки **SeT Series** — флагманського портфоліо Schneider Electric для розподілу електроенергії та управління двигунами.

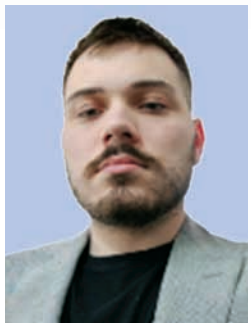
Новий брендинг узгоджено із зобов'язанням Schneider Electric щодо:

- **сталого майбутнього:** використання вторинної сировини (50% переробленої сталі у PanelSeT SFN), відновлюваних джерел енергії, екологічної упаковки (перероблений картон, значне зменшення одноразового пластику) та цифрових інструкцій. Виробничі підприємства PanelSeT вже скоротили свої викиди $CO_2$ на 49% у 2023 році (scope 1+2) порівняно з 2017 роком.
- **гнучкості:** завдяки різним варіантам постачання (зібрані або у вигляді комплекту), а також розширеним можливостям кастомізації (вирізання, фарбування, монтаж аксесуарів, індивідуальні розміри, обробка для специфічних застосувань тощо).
- **надійності:** високий рівень міцності при експлуатації в жорстких умовах, включаючи важку промисловість, морський транспорт і логістику.
- **ефективності:** завдяки використанню програмного забезпечення для проєктування та конфігурації, яке дозволяє значно заощадити час при збиранні щитів.

PanelSeT створено для того, щоб спростити та покращити взаємодію з клієнтами — завдяки простій та зрозумілій назві. Ця нова стратегія допомагає критично важливій інфраструктурі досягати своїх цілей у сфері сталого розвитку та забезпечувати довготривалий вплив.

ДЛЯ БІЛЬШ ДЕТАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО **PANELSET** ПЕРЕЙДІТЬ НА

**se.com/enclosures**



**А.О. Ворушило,**
аспірант

**Інститут загальної енергетики НАН України**

**УДК 620.9**

Надійшла
Received 30.05.2025

# ЩОДО ЕЛАСТИЧНОСТІ МУЛЬТИАГЕНТНИХ MICROGRID

## ВСТУП

Сучасні енергетичні мережі стають дедалі складнішими через інтеграцію розподілених енергетичних ресурсів (*distributed energy resources — DER*), що зумовлює необхідність децентралізованого контролю та управління [1]. Традиційні централізовані методи керування виявляються неефективними та складними для впровадження в інтелектуальних мережах, які містять велику кількість керованих пристроїв та переривчасті відновлювані джерела енергії [1]. Сама структура централізованої системи, де всі рішення приймаються в єдиному центрі, створює вузькі місця в великомасштабних розподілених системах, таких як інтелектуальні мережі. Величезний обсяг даних від численних DER та інтелектуальних пристроїв керування споживанням перевантажує центральний процесор, що призводить до збільшення часу обробки та потенційних затримок у реагуванні. Крім того, погано прогнозований переривчастий характер відновлюваних джерел енергії спричиняє швидкі коливання, з якими централізована система може не впоратися в режимі реального часу по всій великій мережі.

Мультиагентні системи (multi-agent system — MAS) пропонують зміну парадигми розподіляючи контроль між автономними сутностями, що підвищує масштабованість, відмовостійкість та здатність обробляти динамічний характер функціонування мікромереж [1–3]. Перекладаючи контроль на окремих агентів, пов'язаних із конкретними компонентами (наприклад, агент сонячної панелі, агент акумулятора, агент споживача), система стає більш модульною та адаптивною. Кожен агент може приймати рішення на основі локальної інформації, зменшуючи інформаційне навантаження на центральний об'єкт. Ця розподілена природа за своєю суттю покращує відмовостійкість, оскільки відмова одного агента не обов'язково призводить до відмови всієї системи. Крім того, значно покращується реагування на локальні зміни, такі як коливання генерації з використанням сонячної енергії або зміни індивідуального попиту споживачів.

Концепція еластичних мікромереж та важливість реагування на попит (*demand response — DR*) у балансуванні попиту та пропозиції набувають все більшого значення [3]. Реагування на попит є критично важливим для зменшення обмежень мережі та досягнення балансу попиту та пропозиції, особливо зі зростанням проникнення відновлюваних джерел енергії [4]. Переривчастий характер відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, вносить мінливість у постачання електроенергії. Реагування на попит забезпечує механізм узгодження цієї мінливої пропозиції зі споживанням, стимулюючи споживачів змінювати свої моделі споживання елек-

троенергії. Це може включати трансформацію графіків навантаження шляхом зміщення споживання на періоди високої генерації відновлюваної енергії або зменшення споживання в періоди пікового попиту чи низької генерації відновлюваної енергії. Ефективне реагування на попит, що забезпечується мультиагентними системами, може призвести до значного зниження експлуатаційних витрат та покращення стабільності мережі [3]. Активне керування попитом зменшує потребу у дорогій генерації електроенергії в пікові години (часто з викопного палива), що призводить до зниження експлуатаційних витрат. Крім того, балансування попиту та пропозиції в режимі реального часу запобігає перевантаженню мережі, мінімізує ризик відключень електроенергії та підвищує загальну стабільність мережі.

У цьому контексті точне прогнозування цінових сигналів відіграє важливу роль у забезпеченні ефективного реагування на попит та оптимізації роботи мікромережі. Точні прогнози цін дають змогу агентам приймати обґрунтовані рішення щодо споживання, генерації та торгівлі енергією, що призводить до оптимізованого використання ресурсів та економії витрат. Коли агенти мають надійні прогнози щодо майбутніх цін на електроенергію, вони можуть стратегічно планувати свої дії. Так, наприклад, агент споживача може вирішити відкласти використання потужних приладів, якщо він очікує стрибка цін у найближчому майбутньому. Подібним чином, агент виробника з надлишком відновлюваної енергії може визначити оптимальний час для її продажу до мережі на основі прогнозів цін. Синергія між мультиагентними системами, точним прогнозуванням цін та реагуванням на попит є ключем до реалізації повного потенціалу інтелектуальних та еластичних мікромереж. Мультиагентні системи забезпечують основу для розподіленого прийняття рішень та контролю. Точне прогнозування цін надає необхідну інформацію для прийняття агентами оптимальних рішень. Реагування на попит є механізмом, за допомогою якого ці обґрунтовані рішення перетворюються на відчутні переваги для мікромережі з точки зору ефективності, надійності та економічності.

Як видно в **табл. 1**, для довоєнного періоду в Україні характерним є незначне (близько 2%) зростання використання енергії домашніми господарствами, яке на кінець 2013 року досягло третини у кінцевому енергоспоживанні України.

Разом з тим, наведені нижче в **табл. 2** встановлені в Україні тарифи на електричну енергію [6], як видно на **рис. 1, 2**, не сприяють вирішенню поставлених завдань щодо збільшення еластичності електроспоживання, оскільки за найнижчих цін ринку на добу наперед (РДН) пропонують використання кратно збільшеного тарифу. За таких викривлених умов про гнучкість цього сегменту ринку електричної енергії, який становить близько його третини, не може бути і мови.

На **рис. 1, 2** видно, що встановлені постановою [6] тарифи на електричну енергію не сприяють реалізації заклику НЕК “Укренерго” щодо балансування енергосистеми “ми і пропонуємо активно використовувати потужні електроприлади саме у денний період — з 10:00 до 18:00” [7], оскільки цей часовий проміжок включає найвищий тариф для споживача [8].

Наведений аналіз свідчить про недостатню еластичність попиту на електричну енергію за прийнятої системи тарифоутворення, що обумовлює пошук шляхів розв’язання цієї задачі. На наш погляд, доцільно скористатися досвідом країн зі значною часткою відновлюваних джерел енергії в балансі, у тому числі із розповсюдженим використанням Microgrid.

**Таблиця 1. Кінцеве енергоспоживання по роках спостереження [5]**

| Роки | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Загальне кінцеве енергоспоживання, тис. т н.е. | 85955 | 83283 | 67555 | 74004 | 75852 | 73107 | 69557 |
| Домашні господарства, тис. т н.е. | 23001 | 22845 | 22084 | 23813 | 23604 | 23466 | 23495 |
| Домашні господарства, % | 26,8% | 27,4% | 32,7% | 32,2% | 31,1% | 32,1% | 33,8% |

**Примітка.** тис. т н.е. — тисяч тонн нафтового еквіваленту.

**Таблиця 2. Тарифи на електричну енергію для населення [6]**

| Час | Тариф, грн/кВт·год | Ознака тарифу |
|---|---|---|
| **За наявності двозонних лічильників** | | |
| З 7:00 до 23:00 | 4,32 | Денний |
| З 23:00 до 7:00 | 2,16 | Нічний |
| **За наявності тризонних лічильників** | | |
| З 8:00 до 11:00;<br>з 20:00 до 22:00 | 6,48 | Період максимального навантаження енергосистеми |
| З 7:00 до 8:00;<br>з 11:00 до 20:00;<br>з 22:00 до 23:00 | 4,32 | Напівпіковий |
| З 23:00 до 7:00 | 1,73 | Нічний |

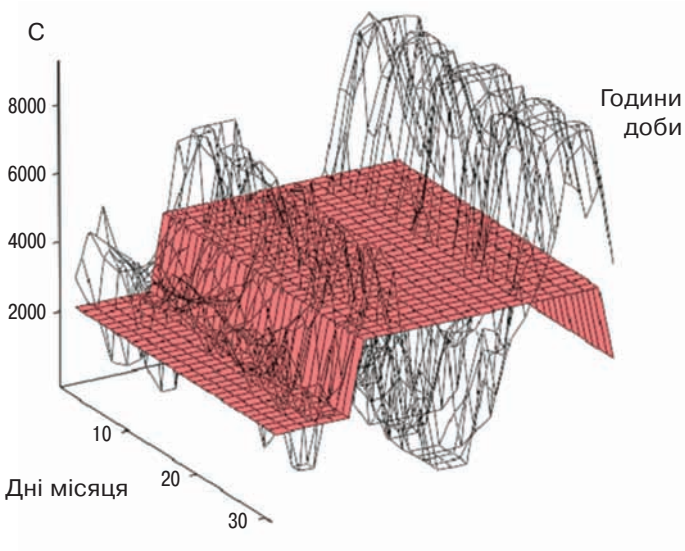



**Рис. 1.** Погодинні ціни на електричну енергію “ринку на добу наперед” C, грн/МВт·година, у квітні 2025 року та двозонний тариф (червона поверхня) для населення [6, 8]

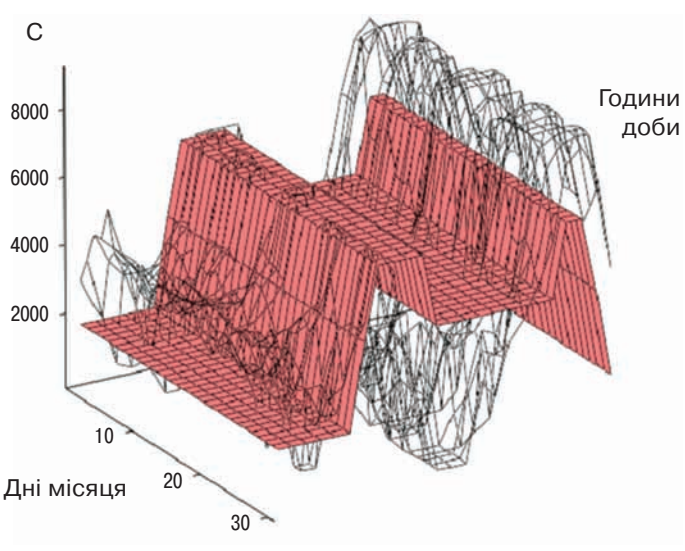



**Рис. 2.** Погодинні ціни на електричну енергію “ринку на добу наперед” C, грн/МВт·година, у квітні 2025 року та тризонний тариф (червона поверхня) для населення [6, 8]

## ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1. Мультиагентна архітектура керування еластичною Microgrid

**1.1. Підходи до проектування мультиагентних систем керування Microgrid.** Існуючі підходи до проектування мультиагентних систем керування мікромережами можна поділити на централізовані, розподілені та ієрархічні [9].

Централізована архітектура характеризується єдиним центром керування, який управляє однорідними агентами. У цій архітектурі, описаній у [9], використовуються реактивні агенти для швидкого реагування (наприклад, реле зниження частоти) та когнітивні агенти в центральному контролері для прийняття рішень вищого рівня (наприклад, відключення некритичних навантажень під час дефіциту потужності). Хоча ця архітектура є концептуально простою та потенційно легшою для впровадження в невеликих системах, вона створює єдину точку відмови та може стати обчислювально інтенсивною та залежною від комунікації зі збільшенням масштабу Microgrid, особливо при роботі з динамічним характером еластичного попиту та генерації. Центральному контролеру потрібно обробляти та реагувати на великий обсяг даних у реальному часі від усіх агентів, що може призвести до затримок та зниження швидкості реагування.

Розподілена архітектура включає набір комунікативних агентів, що керуються однорівневою структурою керування. Кожен локальний агент відповідає за свою частину мережі та має про неї знання, а глобальна інформація виявляється через комунікацію та координацію між сусідніми агентами [9]. У [9] робиться акцент на розподілених системах, де агенти можуть реєструвати та публікувати свої можливості (наприклад, агент навантаження, який знаходить доступних агентів джерел енергії та надсилає запити на пропозиції), що сприяє відмовостійкості завдяки здатності агентів реорганізовуватися та справлятися з втратою інших агентів. Ця архітектура забезпечує покращену масштабованість та надійність, оскільки керування та прийняття рішень розподілені між кількома агентами. Вона добре підходить для управління мінливістю еластичного попиту та розподіленої генерації, оскільки агенти можуть реагувати локально та координувати свої дії зі своїми безпосередніми сусідами [9]. Однак досягнення глобальної оптимізації та забезпечення стабільності в масштабах всієї системи може бути складнішим і може вимагати складних механізмів пошуку консенсусу.

Ієрархічна архітектура включає агентів з різними рівнями повноважень, часто у трирівневій структурі для Microgrid [9]. Трирівневі ієрархії детально описані в [9], де агенти вищого рівня відповідають за загальну політику та критичні рішення, агенти середнього рівня керують перемиканням режимів та мінімізацією втрат, а агенти нижчого рівня безпосередньо взаємодіють з датчиками та виконавчими механізмами. Ця архітектура намагається поєднати переваги централізованого та розподіленого керування. Ієрархічна структура забезпечує стратегічний огляд та координацію на вищих рівнях, водночас дозволяючи локальне керування та швидке реагування на нижчих рівнях. Це може бути особливо ефективним для управління еластичним попитом та генерацією, дозволяючи агентам вищого рівня встановлювати загальну політику реагування на попит, а агентам нижчого рівня впроваджувати цю політику на основі місцевих умов та цінових сигналів.

Спостерігається зростаючий дослідницький інтерес до впровадження MAS для реагування на попит, з акцентом на інтеграцію інтелектуальних агентів для ефективного керування навантаженням та стабільності мережі [10]. У [10] вказується на зростаючий дослідницький інтерес до використання MAS для DR, підкреслюючи керування навантаженням та стабільністю мережі, а також згадуються

потужні інструменти автономності, соціальності, реактивності та проактивної поведінки в MAS для розробки складних систем DR. У [11] розглядається MAS-based DR у ринкових системах та активах розподільної мережі, підкреслюючи перевагу децентралізованих підходів з точки зору обчислювальних витрат. У [10] наголошується, що властивості MAS є потужними інструментами для розробки складних систем DR, що дозволяє споживачам, постачальникам комунальних послуг, учасникам ринку та пристроям взаємодіяти та спілкуватися як агентам для оптимізації споживання електроенергії та координації балансування навантаження.

Вибір архітектури MAS значно впливає на здатність системи забезпечувати еластичний попит та генерацію, впливаючи на комунікаційні витрати, масштабованість та складність алгоритмів координації. Централізована архітектура може мати труднощі з реагуванням у реальному часі на локалізовані коливання відновлюваної генерації або попиту. Розподілені архітектури забезпечують кращу гнучкість, але вимагають надійних протоколів зв'язку. Ієрархічні архітектури прагнуть до балансу, але проектування ієрархії та розподіл відповідальності є критично важливими. Майбутні дослідження повинні вивчити гібридні архітектури, які поєднують сильні сторони різних підходів для оптимізації продуктивності еластичних Microgrid, потенційно включаючи концепції федеративного навчання для покращеної конфіденційності та розподіленого інтелекту [19–20].

**1.2. Типи агентів та класифікація їх ролей у моделях.** Ролі агентів у мультиагентних моделях для Microgrid можна класифікувати за їхніми функціями, наведеними в **табл. 3**, такими як генерація, споживання, зберігання та контроль

***Агенти-споживачі*** представляють одиниці споживання енергії, реагуючи на цінові сигнали та потенційно беручи участь у реагуванні на попит. У [9] описуються агенти навантаження, які можуть знаходити доступних агентів джерел енергії та надсилати запити на пропозиції. У [12] представлені агенти навантаження, які дозволяють клієнтам вказувати обсяг електроенергії для придбання та спілкуватися з агентами-виробниками, діючи як покупці. Ці агенти є фундаментальними для моделювання сторони попиту мікромережі та відображення еластичності попиту у відповідь на цінові сигнали. Їхня поведінка, заснована на попередньо визначених правилах або навчена за допомогою підкріплювального навчання, безпосередньо впливає на загальний профіль навантаження мікромережі.

***Агенти-виробники*** керують генерацією енергії з різних джерел, включаючи відновлювані та традиційні генератори, і можуть пропонувати енергію на ринку. У [9] згадуються агенти джерел енергії, які керують генерацією енергії. У [9] детально описуються агенти-генератори, які отримують запити на електроенергію та дозволяють власникам встановлювати ціни продажу для торгівлі. Ці агенти моделюють сторону пропозиції, включаючи мінливість генерації відновлюваної енергії. Їхні стратегії щодо пропонування енергії на ринку, потенційно засновані на прогнозуванні та передбаченні цін, є вирішальними для енергетичного балансу та цінових сигналів мікромережі.

***Агенти-агрегатори*** координують поведінку кількох споживачів або виробників, полегшуючи їхню участь у програмах реагування на попит або енергетичних ринках. У [9] згадуються оператори ринку, які полегшують участь у ринку, надсилаючи запити на пропозиції та зіставляючи покупців з продавцями. Агрегатори відіграють життєво важливу роль у масштабуванні реагування на попит, координуючи дії численних дрібних споживачів. Вони також можуть допомогти невеликим виробникам ефективніше брати участь в енергетичних ринках, сприяючи більш ефективній та чутливій мікромережі.

***Агенти-накопичувачі*** контролюють заряджання та розряджання систем накопичення енергії (наприклад, акумуляторів) для оптимізації використання енергії та стабільності мережі. У [9] описуються агенти накопичення енергії, які керують плануванням та роботою пристроїв накопичення енергії. У [13] детально описуються агенти акумуляторів, які контролюють дії заряджання та розряджання на основі даних від інших агентів для балансування попиту та пропозиції та стабілізації напруги шини постійного струму. Агенти накопичення енергії є вирішальними для підвищення еластичності мікромережі шляхом роз'єднання генерації та споживання енергії в часі.

**Таблиця 3. Типи агентів та їхні ролі в моделях мікромереж відповідно до [9]**

| Тип агента | Основна роль | Ключові функції (пов'язані з прогнозуванням цін та еластичністю) |
|---|---|---|
| Агент-споживач | Керує споживанням енергії | Реагує на цінові сигнали, може брати участь у реагуванні на попит |
| Агент-виробник | Контролює генерацію енергії | Встановлює ціни продажу, може оптимізувати генерацію на основі прогнозів цін |
| Агент-агрегатор | Координує поведінку кількох споживачів або виробників | Полегшує участь у програмах реагування на попит та енергетичних ринках |
| Агент-накопичувач | Керує заряджанням та розряджанням накопичувачів енергії | Оптимізує використання накопиченої енергії на основі цінових сигналів та потреб системи |
| Агент керування | Наглядає за загальною роботою мікромережі | Приймає рішення високого рівня, координує дії інших агентів, може впроваджувати алгоритми оптимізації на основі прогнозів цін |

Вони можуть зберігати надлишкову відновлювану енергію в періоди низького попиту та вивільняти її, коли попит високий або відновлювана генерація низька, реагуючи на цінові сигнали для оптимізації економічних вигод.

***Агенти керування*** контролюють загальну роботу мікромережі, приймаючи рішення високого рівня та координуючи дії інших агентів. У [9] згадуються агенти-супервайзери, які контролюють брокерські операції між споживачами та постачальниками енергії, взаємодіють з відкритим ринком та керують відключеннями під час збоїв. У [12] представлений агент керування, який купує електроенергію з мережі для задоволення попиту на навантаження, якщо немає доступних агентів-генераторів. Ці агенти відповідають за забезпечення стабільної та ефективної роботи всієї мікромережі. Вони можуть впроваджувати алгоритми оптимізації для мінімізації витрат, максимізації використання відновлюваної енергії або підтримки якості електроенергії, часто координуючи дії інших спеціалізованих агентів.

Гетерогенність агентів та чітке визначення їхніх ролей є фундаментальними для створення реалістичної та ефективної мультиагентної моделі для еластичної Microgrid. Різні агенти мають різні можливості та переслідують різні цілі. Наприклад, агент споживача пріоритезує мінімізацію витрат на енергію та комфорт, тоді як агент виробника зосереджується на максимізації прибутку від генерації енергії. Агент накопичення прагне оптимізувати використання накопиченої енергії на основі цінових сигналів та потреб системи. Модель повинна точно відображати цю різноманітну поведінку, щоб імітувати складну динаміку еластичної Microgrid. Проектування ролей агентів слід ретельно продумати, щоб воно відповідало конкретним цілям та операційним характеристикам Microgrid [9–11]. Це включає визначення їхніх обов'язків, процесів прийняття рішень та способів їхньої взаємодії з іншими агентами та навколишнім середовищем.

**1.3. Оптимальні структури взаємодії між агентами.** Оптимальні структури взаємодії для обміну даними про ціни та обсяги споживання/генерації в мультиагентних системах для еластичних Microgrid можуть бути централізованими, децентралізованими або гібридними [9].

***Централізований обмін даними*** передбачає, що центральний контролер діє як центр усієї комунікації, збираючи дані від усіх агентів та розповсюджуючи команди керування та цінові сигнали [9]. У [9] описуються централізовані архітектури, де реактивні агенти надсилають дані датчиків та отримують команди від центрального когнітивного агента. Цей підхід спрощує координацію та може сприяти глобальній оптимізації, оскільки центральний контролер має повне уявлення про систему. Однак це може призвести до вузьких місць зв'язку, збільшення затримки та створення єдиної точки відмови, що робить його менш придатним для великих або географічно розподілених мікромереж з великими обсягами обміну даними, необхідними для керування еластичним попитом та генерацією в режимі реального часу.

***Децентралізований обмін даними*** передбачає безпосереднє спілкування агентів один з одним або з обмеженим набором сусідніх агентів для обміну інформацією про ціни, споживання та генерацію. В [9] робиться акцент на розподілених одноранго-вих системах, де агенти можуть реєструвати свої можливості в каталозі, дозволяючи іншим агентам знаходити та запитувати послуги. Така структура покращує масштабованість та надійність, оскільки немає єдиної точки відмови, а зв'язок локалізований. Вона добре підходить для управління мінливістю еластичного попиту та розподіленої генерації, оскільки агенти можуть швидко реагувати на локальні зміни. Однак досягнення глобальної координації та забезпечення стабільності в масштабах всієї системи може бути складним завданням і може вимагати складних розподілених алгоритмів консенсусу та протоколів зв'язку.

***Гібридний обмін даними*** поєднує елементи як централізованих, так і децентралізованих підходів, часто використовуючи ієрархічну структуру, де деяка інформація обмінюється локально, а рішення вищого рівня або агреговані дані пересилаються центральному об'єкту або агенту вищого рівня. В [9] детально описано ієрархічні системи, де агенти нижчого рівня надсилають дані датчиків агентам середнього рівня, які можуть агрегувати ці дані та спілкуватися з агентами вищого рівня для прийняття рішень високого рівня, і навпаки. Цей підхід має на меті використати переваги як централізованого, так і децентралізованого керування. Він може забезпечити баланс між глобальною оптимізацією та локальною чутливістю, потенційно зменшуючи накладні витрати на зв'язок порівняно з повністю централізованою системою, водночас дозволяючи певний рівень централізованої координації для критично важливих функцій.

Продуктивність мультиагентної системи в еластичній Microgrid сильно залежить від базової комунікаційної інфраструктури. Висока затримка або ненадійний зв'язок можуть перешкоджати здатності агентів обмінюватися даними про ціни та споживання/генерацію в режимі реального часу, що призводить до субоптимального прийняття рішень та зниження чутливості до цінових сигналів. Протоколи безпечного зв'язку також є важливими, але їх потрібно впроваджувати без надмірних затримок, які можуть поставити під загрозу роботу Microgrid в режимі реального часу [2].

Оптимальна структура взаємодії для обміну даними про ціни та споживання/ генерацію в мультиагентній системі для еластичної Microgrid залежить від компромісу між такими факторами, як масштабованість, надійність, пропускна здатність зв'язку, вимоги до затримки та складність цілей керування. Централізований підхід може бути придатним для невеликих, географічно сконцентрованих Microgrid з надійним високошвидкісним зв'язком. Однак для більших, складніших Microgrid з розподіленими відновлюваними ресурсами та численними агентами, чутливими до цін, децентралізований або гібридний підхід може бути ефективнішим з точки зору масштабованості та надійності, навіть якщо це вимагає більш складних механізмів координації. Майбутні

дослідження повинні бути зосереджені на розробці ефективних та безпечних протоколів зв'язку та алгоритмів координації, адаптованих до конкретних вимог мультиагентних систем для еластичних Microgrid, враховуючи обмеження та можливості, що надаються різними структурами взаємодії.

## 2 Еластичність та реактивність агентів

**2.1. Методи оцінки та кількісні показники еластичності попиту споживачів на цінові сигнали у мультиагентних системах.** Для розуміння чутливості споживачів до змін цін у Microgrid важливим є поняття цінової еластичності попиту (*price elasticity of demand — PED*) [14]. PED визначається як відношення відсоткової зміни величини попиту до відсоткової зміни ціни. Існують різні методи кількісної оцінки PED, включаючи формулу середньої точки та більш складні економетричні моделі [14]. Формула середньої точки для розрахунку PED між двома ціновими точками виглядає наступним чином [14, 22]:

$$PED = \frac{\Delta P / P}{\Delta Q / Q} = \frac{(P2 - P1) \Big/ \left(\frac{P1 + P2}{2}\right)}{(Q2 - Q1) \Big/ \left(\frac{Q1 + Q2}{2}\right)}, \qquad (1)$$

де:
$Q1$ та $P1$ — початкова кількість та ціна;
$Q2$ та $P2$ — кінцева кількість та ціна.

Економетричні моделі можуть забезпечити більш детальне розуміння, враховуючи такі фактори, як дохід, наявність замінників та історичні моделі споживання [14]. Наприклад, майже ідеальна система попиту (*almost ideal demand system — AIDS*) використовується для аналізу поведінки споживання електроенергії домогосподарствами за умов ціноутворення в реальному часі (*real-time pricing — RTP*), що дозволяє оцінити власну та перехресну еластичність [15].

Агентне моделювання (*agent-based modeling — ABM*) є потужним інструментом для імітації колективної еластичності кількох агентів у Microgrid [16]. ABM дозволяє моделювати гетерогенних агентів з різним ступенем цінової чутливості та різними правилами поведінки. Загальна еластичність виникає з їхньої сукупної поведінки у відповідь на цінові сигнали.

Оцінка та кількісна оцінка еластичності попиту в мультиагентній Microgrid вимагає методів, які можуть відобразити гетерогенність реакції споживачів та динамічну взаємодію між агентами та навколишнім середовищем. Агентне моделювання пропонує потужний підхід для імітації цієї складної динаміки.

**2.2. Практичні підходи до моделювання та оцінки поведінкових реакцій агентів на цінові стимули.** Моделювання поведінкових реакцій агентів на цінові стимули в еластичній Microgrid може здійснюватися за допомогою різних підходів, включаючи економічне моделювання, теорію ігор та агентне моделювання [11].

***Економічне моделювання*** використовує функції корисності та криві попиту для представлення того, як агенти приймають рішення на основі цін [11]. Ці моделі можуть враховувати бюджетні обмеження, переваги щодо різних моделей споживання та наявність гнучких навантажень для прогнозування змін попиту у відповідь на цінові сигнали.

***Теорія ігор*** застосовується для моделювання стратегічних взаємодій між агентами у відповідь на цінові зміни, особливо в сценаріях, що включають торгівлю енергією, участь у реагуванні на попит та конкуренцію між виробниками та споживачами [17]. Теорія ігор особливо корисна для моделювання ситуацій, коли рішення одного агента можуть впливати на результати для інших агентів.

***Агентне моделювання (ABM)*** пропонує високоеластичний підхід до імітації поведінки агентів, чутливих до цін, у Microgrid [16]. ABM дозволяє дослідникам визначати індивідуальні характеристики агентів, такі як їхня цінова чутливість, переваги та правила прийняття рішень, а також спостерігати, як ця індивідуальна поведінка агрегується, щоб створити результати на рівні системи.

Вибір підходу до моделювання залежить від конкретного дослідницького питання та необхідного рівня деталізації для розуміння поведінкових реакцій агентів в еластичній мікромережі. Комбінування ідей з цих різних підходів може призвести до більш повного розуміння поведінки агентів в еластичних Microgrid, що дозволить розробляти ефективніші програми реагування на попит, засновані на цінах, та ринкові механізми (див. **табл. 4**).

**2.3. Кращі практики реалізації реактивної поведінки агентів в умовах цінових змін на ринку електроенергії.** Реалізація реактивної поведінки агентів у відповідь на зміни цін на електроенергію в мультиагентній Microgrid вимагає комплексного підходу, що враховує автономність агентів, чіткі стратегії реагування, потенційне використання підкріплювального навчання та ефективні механізми комунікації та координації [2].

Агенти повинні бути автономними та здатними приймати локальні рішення на основі інформації про ціни в реальному часі та власних цілей (наприклад, мінімізація витрат на енергію, максимізація комфорту, оптимізація прибутку від місцевої генерації) [18]. Надання агентам автономії дозволяє швидко та адаптивно реагувати на коливання цін без необхідності постійного зв'язку з центральним контролером або втручання з його боку.

Слід застосовувати чіткі та добре визначені правила та стратегії, які визначають, як агенти будуть коригувати свої моделі споживання або обсяги генерації у відповідь на різні рівні цін або сигнали про зміну цін. Ці правила можуть базуватися на порогових значеннях, параметрах цінової еластичності або складніших алгоритмах прийняття рішень [19]. Чіткі правила поведінки забезпечують передбачувані та скоординовані реакції на цінові сигнали.

Потрібно розглядати можливість використання підкріплювального навчання (*reinforcement learning — RL*), щоб агенти могли з часом навчатися оптимальних реактивних моделей поведінки через постійну взаємодію з динамічним ціновим середовищем та отримання зворотного зв'язку (винагород) за свої дії [20]. RL пропонує потужний підхід, за допомогою якого агенти можуть вивчати складні та адаптивні

**Таблиця 4. Фактори, що впливають на точність моделей прогнозування цін в мультиагентних системах**

| Фактор | Опис | Потенційний вплив на точність |
|---|---|---|
| Якість даних | Точність, повнота та релевантність історичних даних про ціни, навантаження, генерацію відновлюваної енергії та зовнішні фактори | Висока якість даних призводить до підвищення точності прогнозування; низька якість даних може призвести до неточних прогнозів |
| Затримка даних | Час між отриманням даних та їх використанням для прогнозування | Висока затримка може призвести до використання застарілої інформації, знижуючи точність прогнозування в реальному часі |
| Складність моделі та налаштування | Архітектура моделі штучного інтелекту та її гіперпараметри | Оптимально налаштовані моделі відповідної складності забезпечують кращу точність; надмірно складні або погано налаштовані моделі можуть призвести до перенавчання або недостатньої продуктивності |
| Частота оновлення даних | Як часто модель отримує нові дані для прогнозування | Вища частота оновлення може допомогти моделі швидше адаптуватися до змін, потенційно підвищуючи точність для короткострокових прогнозів |
| Горизонт прогнозування | Часовий період, на який робиться прогноз (5–15 хвилин) | Коротші горизонти прогнозування, як правило, є більш точними; точність може знижуватися зі збільшенням горизонту |

реактивні моделі поведінки у відповідь на зміни цін на електроенергію.

Слід впровадити ефективні механізми комунікації та координації, які дозволяють агентам обмінюватися інформацією про зміни цін, свої заплановані реакції та свій поточний стан [9]. Ефективна комунікація дає змогу агентам діяти скоординовано, запобігаючи ситуаціям, коли кілька агентів можуть одночасно збільшити навантаження у відповідь на зниження ціни, що потенційно може призвести до нестабільності.

Найкращі практики реалізації реактивної поведінки агентів передбачають проектування автономних агентів з чіткими стратегіями реагування, потенційне використання підкріплювального навчання для адаптації та забезпечення ефективної комунікації та координації між агентами для досягнення загальносистемної еластичності та стабільності у відповідь на цінові сигнали.

## ВИСНОВКИ

**1.** Побудова мультиагентної моделі еластичної Microgrid є складним завданням, яке вимагає ретельного розгляду архітектури системи, методів прогнозування цін та моделювання поведінки агентів. Вибір відповідної архітектури MAS (централізованої, розподіленої чи ієрархічної), визначення ролей для різних типів агентів (споживачі, виробники, агрегатори, накопичувачі, керування) та встановлення ефективних структур взаємодії для обміну даними про ціни та споживання/генерацію є критично важливими кроками.

**2.** Точне короткострокове прогнозування цін на електроенергію є ключем до ефективної роботи еластичної Microgrid. При цьому необхідно враховувати такі фактори, як якість даних, затримка передачі даних, складність моделі та частота оновлення даних.

**3.** Моделювання еластичності та реактивності агентів на цінові сигнали вимагає використання методів оцінки PED та практичних підходів до моделювання поведінкових реакцій, таких як економічне моделювання, теорія ігор та агентне моделювання. Найкращі практики реалізації реактивної поведінки агентів [1, 3, 9–13, 18, 19] включають проектування автономних агентів з чіткими стратегіями реагування, використання підкріплювального навчання для адаптації та забезпечення ефективної комунікації та координації між агентами.

**4.** Майбутні напрямки досліджень мають бути зосереджені на покращенні точності та надійності короткострокових моделей прогнозування цін, розробці моделей поведінки агентів, врахуванні комунікаційних та координаційних проблем у мультиагентних системах, дослідженні інтеграції методів штучного інтелекту для створення ефективних та справедливих енергетичних ринків у межах ізольованих Microgrid.

**5.** Удосконалення тарифної політики та обліку має здійснюватися у напрямку створення умов для щонайширшого запровадження інтервальних засобів обліку електричної енергії, що є необхідною умовою ефективного функціонування мультиагентних Microgrid. Отримані на зазначених засадах реальні значення еластичності попиту за ціною можуть слугувати в якості опосередкованого показника ступеню інтеграції відновлюваних джерел енергії в енергосистему.

**6.** В сукупності цінових сигналів для неізольованих Microgrid слід використовувати результати торгів РДН. Механізми ціноутворення та основні тренди у цьому ринковому сегменті потребують детального аналізу передусім в частині їх впливу на вартість електроенергії для споживачів з погодинним обліком електроенергії та споживачів без погодинного обліку електроенергії.

## ЛІТЕРАТУРА


1. A review on Multi-Agent system based energy management systems for micro grids, дата останнього звернення за посиланням: 15.05.2025, https://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/energy.2019.6.924?viewType=HTML
2. Multi-Agent Systems For Grid Energy Management: A Short Review — CiteSeerX,, дата останнього звернення за посиланням: 15.05.2025, https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=a1c4c243f2df4d66b46459915611e0a306ec11b6
3. Multi-Agent Based Optimal Operation of Hybrid Energy Sources Coupled with Demand Response Programs — MDPI,, дата останнього звернення за посиланням: 15.05.2025, https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/7756
4. Implementation of a novel multi-agent system for demand response management in low-voltage distribution networks — IDEAS/RePEc, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v253y2019ic83.html
5. Енергетичний баланс України, дата останнього звернення за посиланням: 15.05.2025, https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm
6. Постанова Кабінету Міністрів України від 31 травня 2024 р. № 632 Про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 5 червня 2019 р. № 483, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/632-2024-%D0%BF#Text
7. Тепер так буде для всіх: Укренерго змінює правила використання електрики для українців, дата останнього звернення за посиланням: 15.05.2025, https://week.ukrainianwall.com/142714-teper-tak-bude-dlya-vsih-ukrenergo-zminyuye-pravila-vikoristannya-elektriki-dlya-ukrajinciv
8. Погодинні ціни купівлі-продажу електроенергії, дата останнього звернення за посиланням: 15.05.2025, https://www.oree.com.ua/index.php/pricectr
9. Survey of multi-agent systems for microgrid control, дата останнього звернення за посиланням: 25.04.2025, https://www.researchgate.net/publication/282637830_Survey_of_multi-agent_systems_for_microgrid_control
10. Multi-agent system implementation in demand response: A literature review and bibliometric evaluation — AIMS Press, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/energy.2023054?viewType=HTML
11. Multi-Agent Systems and Demand Response: A Systematic Review, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://fardapaper.ir/mohavaha/uploads/2018/11/Fardapaper-Multi-Agent-Systems-and-Demand-Response-A-Systematic-Review.pdf
12. Multiagent Systems Based Modeling and Implementation of Dynamic Energy Management of Smart Microgrid Using MACSimJX — PubMed Central, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4834404/
13. Multi-Agent-Based Controller for Microgrids: An Overview and Case…, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2445
14. Calculating Price Elasticities Using the Midpoint Formula | Microeconomics,, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://courses.lumenlearning.com/wm-microeconomics/chapter/calculating-price-elasticities-using-the-midpoint-formula/
15. Modeling Price Elasticity of Electricity Demand using AIDS — A*STAR OAR, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://oar.a-star.edu.sg/storage/z/zy1gd7wz3x/draids-isgt14-revised.pdf
16. Price response can make the grid robust: An agent-based…, дата последнего обращения: апреля 15, 2025,, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://www.researchgate.net/publication/224618534_Price_response_can_make_the_grid_robust_An_agent-based_discussion
17. Price elasticity of demand | Download Table — ResearchGate, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://www.researchgate.net/figure/Price-elasticity-of-demand_tbl3_325085240
18. Algorithms for distributed decision-making for multi-agent microgrid power management | Request PDF — ResearchGate, дата останнього звернення за посиланням: 15.04.2025, https://www.researchgate.net/publication/241192130_Algorithms_for_distributed_decision-making_for_multi-agent_microgrid_power_management
19. Multi-Agent Reinforcement Learning Approach for Residential Microgrid Energy Scheduling, дата останнього звернення за посиланням: 15.05.2025, https://www.mdpi.com/1996-1073/13/1/123
20. Weather-Aware Data-Driven Microgrid Energy Management Using Deep Reinforcement Learning, дата останнього звернення за посиланням: 15.05.2025, https://par.nsf.gov/servlets/purl/10326739
21. Блінов І.В., Парус Є.В. Системи ринків електричної енергії: навчальний посібник, дата останнього звернення за посиланням: 01.06.2025, https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/62d31e98-e435-4208-91e6-98d8894856f9/content

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ИМПУЛЬС ВЫСОТНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА И ЗАЩИТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОТ НЕГО

В этой необычной книге рассказывается об истории развития военных ядерных программ в СССР и США, роли разведки в создании ядерного оружия в СССР, обнаружении электромагнитного импульса при ядерном взрыве (ЭМИ ЯВ), многочисленных испытаниях ядерных боеприпасов.

В доступной для неспециалистов в области ядерной физики форме описан процесс образования ЭМИ ЯВ при подрыве ядерного боеприпаса на большой высоте, показано влияние многочисленных факторов на интенсивность ЭМИ ЯВ и его параметры. Рассмотрено влияние ЭМИ ЯВ на электронные компоненты и устройства, а также и на силовое электрооборудование энергосистем. Большую часть книги занимает описание практических (а не теоретических, как в сотнях отчетов на эту тему) средств и методов защиты электронного и электротехнического оборудования от ЭМИ ЯВ, испытания этого оборудования на устойчивость к ЭМИ ЯВ, оценки эффективности средств защиты.

Книга рассчитана на инженеров-электриков и энергетиков разрабатывающих, проектирующих и эксплуатирующих электронное и электротехническое оборудование, а также будет полезна преподавателям вузов и студентам.

**К.П. Леонтієв,**
технічний директор
**ПАТ "НВП "Радій"**

**УДК 681.5**

Надійшла
Received 23.04.2025

# RADIY: ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА БЕЗПЕКИ В ПРОМИСЛОВОСТІ

Технологічне обладнання — це основа будь-якого промислового виробництва. Від якості, ефективності та автоматизації обладнання залежить продуктивність підприємства, собівартість продукції, рівень безпеки працівників і конкурентоспроможність на ринку.

ПАТ "Науково-виробниче підприємство **"Радій" (Radiy)** — це український розробник та виробник високотехнологічного обладнання для промисловості. Маючи успішний 30-річний досвід реалізації проєктів для атомної енергетики, Radiy пропонує також повний спектр важливого устаткування для промисловості.

### Місія та цінності

**Radiy** працює задля забезпечення надійної та безпечної генерації енергії в Україні та в світі. Діяльність підприємства базується на тому, що кожна система є унікальною та єдиною. Кожен зразок продукції має відповідати усім державним і міжнародним стандартам та нормам безпеки. Це — догма.

### Запити промислових підприємств

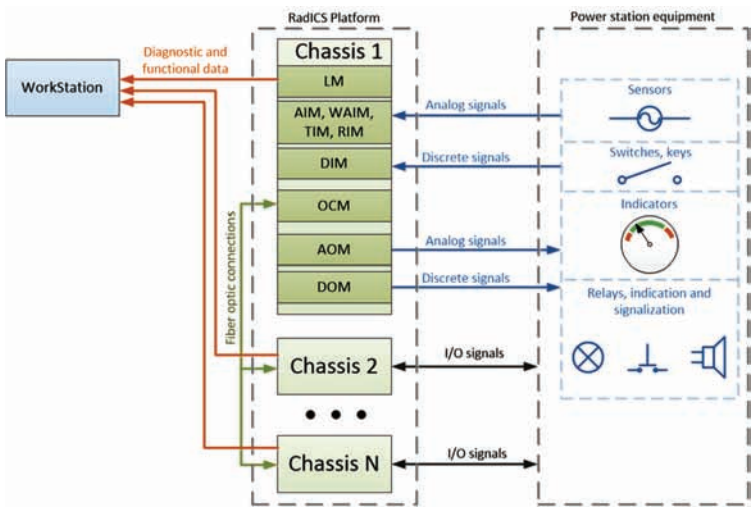
Radiy пропонує комплексні технологічні рішення для промисловості і працює на випередження, постійно розробляючи нові зразки продукції, вдосконалює ті, які добре себе зарекомендували, та щоразу виходить на ринок із новою актуальною пропозицією.

## ЦИФРОВА ПЛАТФОРМА RADICS B ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ АСУ ТП

АСУ ТП, як комплекс апаратно-програмних засобів, призначених для автоматичного керування виробничими процесами на підприємствах, дозволяють підвищити ефективність, безпеку та продуктивність виробництва, зменшуючи вплив людського фактора. Наразі налагодження, оптимізації або ж повного відновлення автоматизації найбільше потребують об'єкти теплової енергетики, загальні промислові мережі та експлуатаційні організації. Платформа **RadICS B** розроблена спеціально для потреб таких клієнтів.

**Платформа RadICS B** — це технологічний продукт від **Radiy**, який поєднує масштабовність, безпеку та інноваційні технології. Платформа у складі інформаційно-керуючих систем (ІКС) може виконувати критично важливі функції керування та захисту для обладнання промислових об'єктів (включно із АЕС), відповідаючи найжорсткішим вимогам міжнародних стандартів з функційної безпечності, кібербезпеки тощо.

Цифрова платформа RadICS B




Загальна схема використання обладнання на основі платформи RadICS B

Основу цифрової інформаційно-керуючої платформи складають логічний модуль, базові модулі введення/виведення та спеціальні модулі, розміщені у сейсмічно кваліфікованому шасі. Завдяки модульній структурі, **RadICS B** легко адаптується під потреби будь-яких об'єктів та обладнання для АЕС.

**Платформа RadICS B** має гнучку і масштабовну архітектуру для інформаційно-керуючих систем будь-якого типу та розміру. Технологія вбудованого сторожового таймера і функціональна самодіагностика знижують ризики відмов загальної причини. Технологія FPGA дозволяє забезпечити швидкий і детермінований час реакції системи — 5 мс.

Комплексна самодіагностика з рівнем покриття більше 99% значно зменшує кількість прихованих критичних відмов та дозволяє оптимізувати витрати на технічне обслуговування. Високий ступінь інтеграції дозволяє в одному шасі приймати, обробляти, формувати та відправляти до 880 вхідних або вихідних сигналів різного типу. А зручне середовище розробки та технічні засоби виконання логіки кінцевого користувача надають можливість розробляти і виконувати логіку роботи систем будь-якої складності.

### Цінність АСУ ТП на основі платформи RadICS B для замовника

Системи автоматизації на основі RadICS B забезпечують:

- високу надійність засобів АСУ ТП за рахунок застосування новітніх технологій у галузі автоматизації.
- високий ступінь захисту від кіберзагроз.
- можливість приймати, обробляти, формувати та надсилати велику кількість сигналів в рамках навіть одного шасі.
- спрощення процесу розробки логіки роботи системи, водночас надаючи можливість реалізувати алгоритми будь-якої складності.
- високий рівень покриття діагностикою дозволяє значно зменшити кількість ручного тестування, а відповідно витрати на обслуговування.
- оптимальне співвідношення ціна/якість.
- user-friendly інтерфейс.
- відчутне спрощення щоденної роботи оператора.
- оптимізацію режимів роботи устаткування.
- економію палива та енергоресурсів промислових підприємств після їх впровадження.
- скорочення простоїв обладнання.
- використання оптико-волоконних кабелів значно знижує собівартість і терміни монтажу обладнання.

## ЛІНІЙКА НИЗЬКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОСТІ

Електротехнічне обладнання є критично важливим для безперебійної роботи промислових підприємств. Воно забезпечує живлення, розподіл, управління, контроль та захист електромереж і механізмів, що працюють на електроенергії. radiy пропонує багатофункціональні низьковольтні комплектні пристрої для промисловості:

- **електророзподільні пристрої** — ввідні шафи, розподільчі шафи, шафи управління механізмами.
- **релейний захист і автоматика (РЗА)** — панелі захисту, трансформатори, генератори тощо.

### Проєктування та виготовлення багатофункціональних електричних комірок 0,4 кВ

Багатофункціональні комірки 0,4 кВ є ключовими елементами розподільних електромереж на промислових підприємствах, у житлових комплексах, комерційних будівлях та інфраструктурних об'єктах.

### Основні характеристики комірок 0,4 кВ

| Робоча напруга | До 0,4 кВ |
|---|---|
| Номінальний струм | До 4000 А (залежно від комплектації) |
| Ступінь захисту | Залежно від умов експлуатації |
| Тип виконання | Стаціонарні або висувні модулі |
| Вимикачі | Автоматичні вимикачі, запобіжники, контактори |
| Матеріали корпусу | Метал (порошкове покриття для корозійної стійкості) |

Багатофункціональні електричні комірки 0,4 кВ

### Функціональні можливості електричних комірок 0,4 кВ

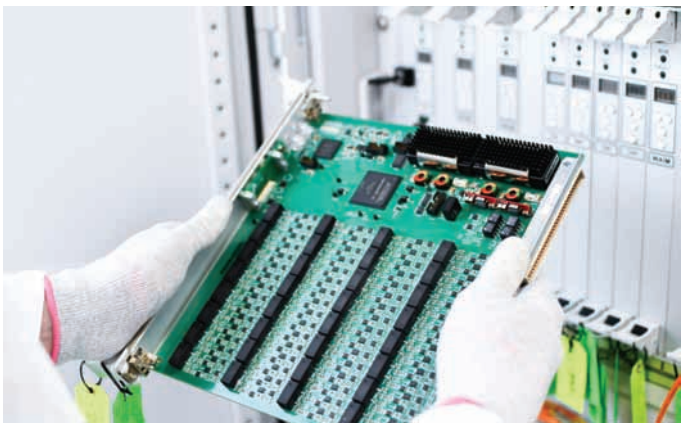
| | | |
|---|---|---|
| 1 | Ввідно-розподільчі функції | • Підключення до загальної електромережі<br>• Розподіл електроенергії між споживачами<br>• Автоматичне ввімкнення резерву (АВР) |
| 2 | Захист від перевантажень і коротких замикань | • Вбудовані автоматичні вимикачі та запобіжники<br>• Відключення при аварійних режимах |
| 3 | Автоматизоване керування електромережами | • Мікропроцесорні пристрої контролю та релейного захисту<br>• Можливість підключення до системи АСУ ТП |
| 4 | Контроль параметрів електромережі | • Вимірювання напруги, струму, частоти<br>• Передача даних на диспетчерські пункти |
| 5 | Стійкість до важких умов експлуатації | • Висока термічна та механічна стійкість<br>• Захист від пилу, вологи та агресивних середовищ — ступінь IP за вимогою замовника |

### Застосування комірок 0,4 кВ

| | |
|---|---|
| Атомні електростанції | Розподіл електричної енергії та захист від коротких замикань |
| Промислові підприємства | Розподіл енергії у виробничих цехах |
| Офісні та торгові центри | Безпечне живлення електромереж |
| Енергетичні об’єкти | Підстанції, розподільчі пункти |
| Транспортна інфраструктура | Залізничні станції, метро |
| Будівельні майданчики | Тимчасове та постійне енергопостачання |

Багатофункціональні електричні комірки 0,4 кВ — це важливий елемент електропостачання, який забезпечує надійність, безпеку та автоматизацію промислових і комерційних об’єктів. Можливість проєктування та виготовлення комірок під індивідуальні вимоги дозволяє забезпечити ефективне та оптимальне рішення для будь-якої сфери застосування.

Електротехнічне обладнання є фундаментом надійної та ефективної роботи промислових підприємств. Його якість і рівень автоматизації впливають на продуктивність, енергоефективність та безпеку. Інвестування у сучасні електротехнічні системи дозволяє зменшити витрати, підвищити надійність виробництва та забезпечити відповідність екологічним стандартам.



Обладнання для енергетики

## СВІТЛОТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОСТІ

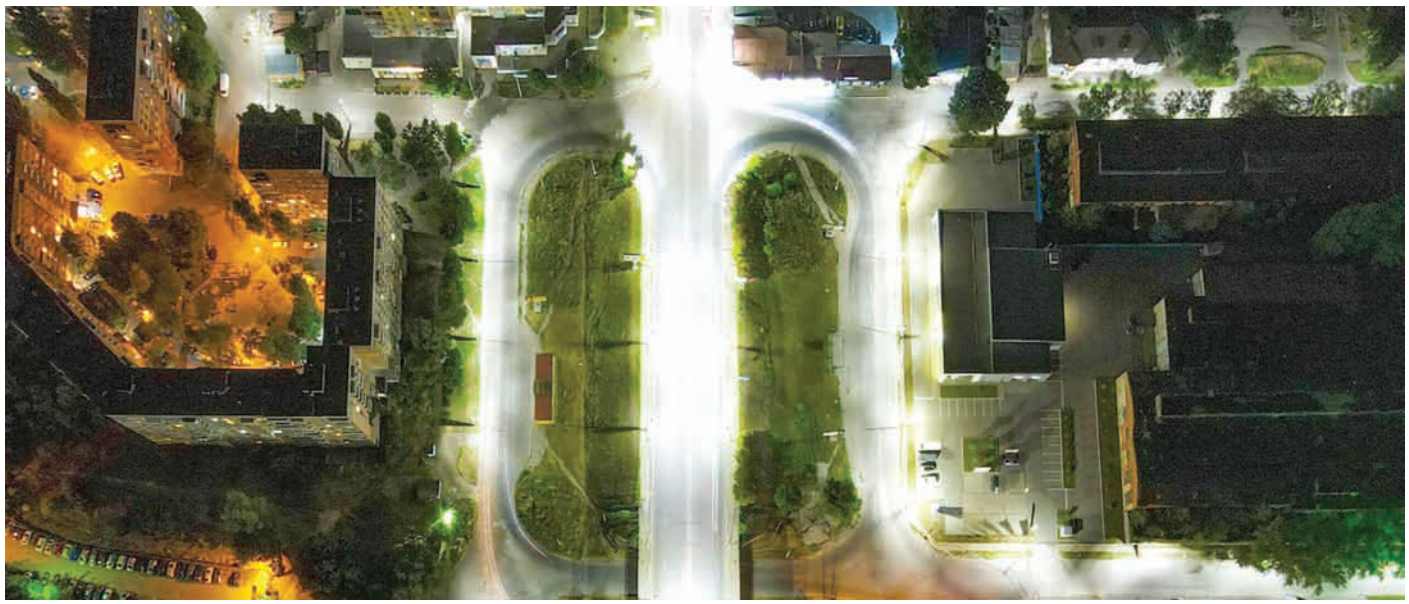
### Продукти RadiyLED для промислових потреб

Промислова лінійка RadiyLED — світильники для внутрішнього та зовнішнього освітлення, спроєктовані розробниками та виготовлені на виробничих лініях Radiy. RadiyLED забезпечує надійне та ефективне світлодіодне освітлення та реальну економію електроенергії. Промислове освітлення RadiyLED повністю відповідає суворим вимогам будь-якого промислового об’єкту або приміщення, що характеризуються потенційно вибухонебезпечним середовищем, небезпекою ураження електричним струмом, підвищеною температурою, спеціальними вимогами тощо.

### Групи продуктів, орієнтовані на промисловість

Промислові світлодіодні світильники RadiyLED для різних умов виробництва

| № | Вимоги до освітлення | Лінійки світильників |
|---|---|---|
| 1 | Внутрішнє освітлення для нормальних умов експлуатації | УСС, ССГ |
| 2 | Внутрішнє освітлення для важких умов експлуатації | ССВ, ССГ, Agro |
| 3 | Зовнішнє освітлення для нормальних умов експлуатації | ССГ, Optibay |
| 4 | Зовнішнє освітлення для важких умов експлуатації | ССГ, СДС, Optibay |



Системи освітлення міст

### Переваги світильників RadiyLED

- Серійне виробництво світлодіодних промислових світильників розпочато у 2010 році.
- Розроблено 250+ моделей та реалізовано 200,000+ шт. світильників, що мають різне призначення та потужність.
- Використовуються комплектуючі лише провідних світових виробників (Mean Well, CREE, Seoul Semiconductor тощо).
- Дотримання високих вимог і міжнародних стандартів компанії Radiy.
- Чіткий контроль на кожному етапі виробництва, включаючи тестування готових виробів у власній лабораторії.
- Менше 0,1% випадків гарантійного ремонту світильників від загальної кількості реалізованих.
- Корпус більшості світильників виготовлений із алюмінієвого сплаву в антивандальному виконанні.
- Доступне встановлення вольт-контролю, блискавкозахисту та різних систем керування освітленням.
- Середній термін окупності світильників складає 6–9 місяців.
- Технологія пайки Pbfree — без використання свинцю.

Світильники енергозберігаючі світлодіодні

- Успішне використання в зовнішньому та внутрішньому освітленні промислових приміщень, включаючи важкі та спеціальні умови експлуатації.
- Розроблені світильники враховують основні фактори промислових об'єктів: важкі та нормальні умови експлуатації та зовнішні\внутрішні локації виробництв для освітлення.

Найпереконливіший аргумент для замовників: наші світильники повністю відповідають високим стандартам безпеки та надійності, адже встановлені на всіх АЕС України.

Якість RadiyLED для себе обирають такі промислові гіганти, як ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг", "Українська холдингова лісопильна компанія", міжнародна група компаній "МЕТІНВЕСТ", ДП СК "Ольвія", ПРАТ "МХП" та інші.

### Надійний партнер для підприємств, які прагнуть інновацій та безпеки

Radiy реалізує повний цикл розробки виробів для промислових об'єктів.

Radiy виконує модернізацію обладнання на майданчику замовника "під ключ". Комплекс робіт включає в себе весь цикл від розробки, проведення комплексних випробувань продукції та інсталяції нової системи до проведення навчання персоналу та сервісного супроводу проєкту. На всіх етапах фахівці компанії здійснюють контроль якості виконання робіт і шеф-інжиніринг.

Обираючи Radiy, ви отримуєте надійність, якість та найкраще співвідношення ціни та якості.

**25009, Україна, м. Кропивницький**
**Вул. Академіка Тамма, 29**
**Телефон: +38 (0522) 37-31-41**
**Email: inbox@radiy.com**
**www.radiy.com**

**Я.С. Бедерак,**
канд. техн. наук,
**ПрАТ "Азот",**
м. Черкаси

**УДК 621.31**

Надійшла
Received 16.04.2025

# ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

## ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ

**Мета публікації** — надати теоретичні засади роботи автоматизованої системи технічного обліку електроенергії (АСТОЕ).

## ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ

На **рис. 1** наведено приклад однолінійної схеми системи електропостачання підприємства.

На вводі на секцію шин головної понижуючої підстанції (ГПП) 110/6 кВ **(рис. 1)** встановлений електронний лічильник електроенергії, підключений в автоматизовану систему комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), на приєднаннях, що відходять з секції шин ГПП, є електронні лічильники електроенергії, що приєднані до АСТОЕ.

## МЕТА СТВОРЕННЯ АСТОЕ

Основна мета створення АСТОЕ — максимальна автоматизація та зниження трудовитрат при отриманні точної, достовірної та оперативної інформації про енергоспоживання підприємства та його окремих підрозділів для вирішення наступних завдань:

- дотримання заданих режимів електроспоживання;
- отримання інформації про повне енергоспоживання окремих підрозділів підприємства для визначення виробничої енергоємності продукції, що випускається;
- проведення аналізу енергоспоживання з метою розробки та ефективного впровадження організаційних та технічних заходів, спрямованих на раціональне використання енергоресурсів.

Технічним, або контрольним, обліком називають облік для контролю процесу постачання/споживання енергії всередині підприємства за його підрозділами та об'єктами (відповідно використовуються прилади технічного обліку).

Технічний облік утворює інформаційну базу для виконання функцій поточного управління, планування, нормування та аналізу електроспоживання.

Впровадження технічного обліку електроенергії на промислових підприємствах дає змогу:

- визначити нераціональне використання електроенергії на окремих технологічних ділянках;

- запроваджувати економічні чинники, що стимулюють економію електроенергії;
- економити енергоресурси та знизити споживання електроенергії на випуск готової продукції.

Завдання технічного обліку відрізняється більшою розмірністю та складністю. Технічний облік здійснюється нині лічильниками електричної енергії лише на рівні розподільних і трансформаторних підстанцій (ТП). Ці лічильники, що неспроможні фіксувати електроенергію, безпосередньо витрачену тим чи іншим цехом, оскільки кожен цех отримує живлення від кількох ТП (чи РП), кожна з яких, своєю чергою, живить кілька цехів.

Для здійснення поділу обліку електроенергії за цехами та технологічними установками, як правило, необхідні додаткова установка лічильників, здійснення перемикань та впорядкування підстанцій.

АСТОЕ дозволяють визначити час роботи (пробіг) основного електроустаткування (силових трансформаторів, електродвигунів напругою 10 (6) кВ). Це дозволить визначити момент виведення в ремонт електродвигунів, силових трансформаторів; розрахувати з більшою точністю втрати енергії в силових трансформаторах.

## ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АСТОЕ

Є два принципа побудови АСТОЕ.

*Перший* — це принцип забезпечення балансу електроенергії на прийомі та віддачі її (балансовий принцип). При цьому забезпечується верифікація даних АСТОЕ. Баланси зводяться на підстанціях промислових підприємств (ПП) з метою виявлення небалансів, невиробничих втрат з метою їх подальшого усунення.

Балансовий принцип є основним способом достовірізації та виявлення похибок вимірювання електроенергії. Суть методу складається в порівнянні значень фактичного та допустимого небалансів електроенергії на всій підстанції або секції шин.

Фактичний небаланс у відсотках $НБ_ф$ обраховується згідно показників приладів обліку як різниця між електроенергією, що поступила на об'єкт $W_п$ та відпущеною електроенергією $W_о$. Крім того, враховуються власні, господарчі та виробничі потреби об'єкту $W_н$, а також технічні втрати в елементах устаткування $\Delta W_{тех}$ за формулою:

$$НБ_ф = \frac{W_п - W_о - W_н - \Delta W_{тех}}{W_п} \cdot 100\%.$$

Значення допустимого небалансу електроенергії у відсотках $НБ_д$ визначається за формулою, що враховує максимально допустимі відносні похибки $\delta_{Wi}$ кожного вимірювального каналу, а також частку електроенергії $d_i$, що поступила по всім вимірювальним каналам прийому електроенергії $N_п$ та частку електроенергії $d_j$, що поступила по всім вимірювальним каналам віддачі електроенергії $N_о$ з енергооб'єкта:

$$НБ_д = \pm\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N_п}\delta_{Wi}^2 d_i^2 + \sum_{i=1}^{N_о}\delta_{Wj}^2 d_j^2\right)} \cdot 100\%.$$

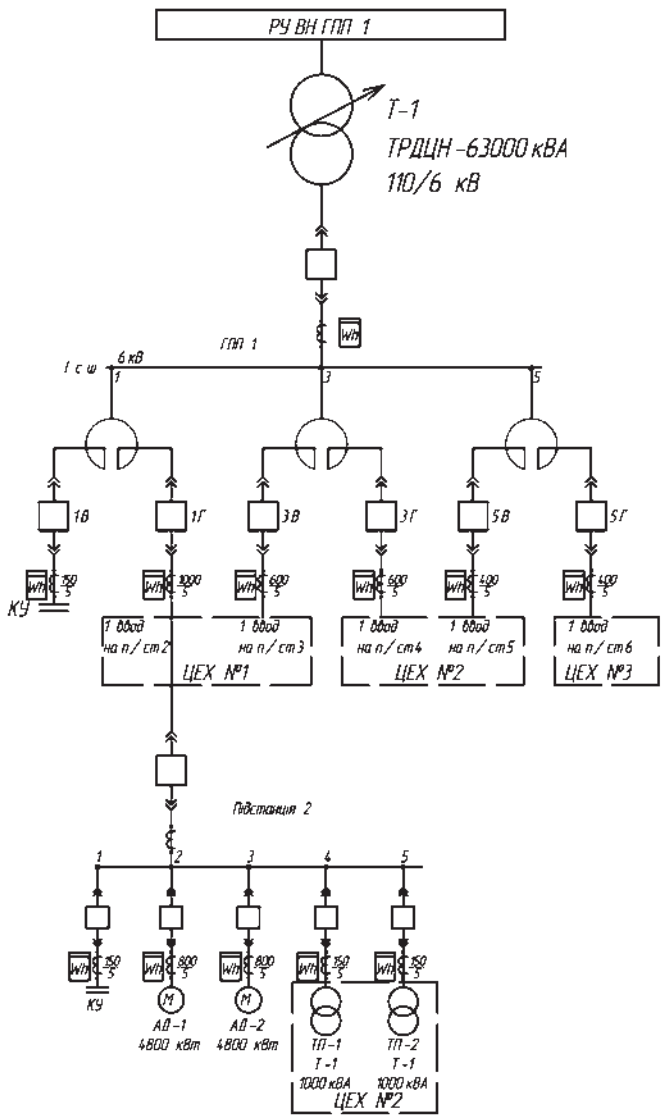



**Рис. 1.** Приклад системи електропостачання підприємства

Максимально допустима відносна похибка вимірювального каналу розраховується за наступною формулою:

$$\delta W_i = \pm\sqrt{\delta_I^2 + \delta_U^2 + \delta_{Лч}^2 + \delta_л^2},$$

де: $\delta_I$, $\delta_U$, $\delta_{Лч}$, $\delta_л$ — похибки трансформатора струму, трансформатора напруги (ТН), лічильника, внаслідок втрат між ТН та лічильником відповідно.

У випадку, коли $НБ_ф$ не перевищує $НБ_д$, облік електроенергії може бути признаний достовірним. При протилежній ситуації облік є недостовірним та персонал підстанції повинен виявнити причини небалансу та вжити заходів з їх усунення.

Необхідно розраховувати небаланс по кожній секції лінії 6, 10 або 110 кВ головних понижуючих підстанцій та розподільних пунктів з урахуванням кількості та класів точності приладів обліку комерційного обліку і технічного обліку.

Переваги балансового принципу — забезпечення точності роботи приладів обліку за рахунок зведення балансу прийому та віддачі електроенергії на секції шин підстанції.

Грунтується побудова балансу потужності на секції шин на теоремі Телледжена. Ця теорема зву-

чить так: “для будь-якого моменту часу сума потужностей, що виробляються, джерелами дорівнює сумі споживаних потужностей у всіх пасивних елементах кола, що розглядається”.

Недолік балансового принципу — збільшення кількості точок обліку, під’єднаних до АСТОЕ.

*Другий* принцип побудови АСТОЕ — залишковий. Він потребує меншої кількості приладів обліку, але забезпечити достовірність даних технічного обліку при цьому неможливо.

## ДОКУМЕНТИ, НЕОБХІДНІ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ АСТОЕ

Розпочинати впровадження АСТОЕ необхідно з складання так званої “скелетної схеми обліку електроенергії структурними підрозділами на підприємстві”.

Коефіцієнт обліку приєднання — це добуток коефіцієнтів трансформації вимірювальних трансформатору струму на приєднанні та трансформатору напруги на секції шин. Наприклад, для приєднання 1Г **(рис. 1)** коефіцієнт обліку дорівнює (1000/5)·(6000/100)=12000.

Наприклад, величина електроспоживання на приєднанні 1Г ГПП 01 дорівнює сумі величин його на приєднаннях 1, 2, 3, 4, 5 підстанції 2 (без урахування втрат енергії в лінії електропередачі). При наявності приладів обліку, що підключені в АСТОЕ, на приєднаннях можливо організувати розрахунок втрат в силових трансформаторах, кабельних або повітряних лініях, струмообмежуючих реакторах, а також на власні потреби ГПП. Це дозволить розрахувати точний відсоток втрат в мережі ПП та впроваджувати заходи з їх зменшення.

Фрагмент скелетної схеми для мережі електропостачання, зображеної на **рис. 1**, наведений в **табл. 1**.

При балансовому принципі побудови технічного обліку електроенергії не потрібно встановлювати прилади обліку на приєднаннях 1, 2 та 3 підстанції 2. При обмеженому бюджеті для впровадження АСТОЕ необхідно на ГПП 1 на усіх приєднаннях секції шин 10 (6) кВ встановлювати прилади обліку та інтегрувати їх в АСТОЕ, а на тупикових підстанціях 10 (6) кВ при невеликих обсягах електроспоживання на приєднаннях, що відходять від них, доцільно організувати технічний облік електроенергії за залишковим принципом. Такий захід дозволить забезпечити баланс електроенергії між технічним та комерційним обліком електроенергії на секціях шин ГПП та скоротити затрати на впровадження АСТОЕ.

Зустрічаються ситуації, коли від електроустановки одного цеху підключений невеликий за потужністю споживач, що належить до другого цеху. В залежності від його потужності необхідно розраховувати величину середньомісячного електроспоживання за даними про потужність встановлених електроприймачів та коефіцієнтом використання їх, або встановити лічильник, який буде підключений до АСТОЕ.

При сучасній вартості 1 кВт·години в мережі 0,4 кВ на приєднанні доцільно встановлювати лічильник при величині середньомісячного електроспоживання в межах 3000 кВт·годин.

В мережі 10 (6) кВ на приєднанні силового трансформатора потужністю більше 100 кВ·А або електродвигуна потужністю 250 кВт та вище доцільно встановлювати прилади обліку. При великій одиничній потужності електроприймача (більше 1000 кВт) корисно підключати прилад обліку на ньому до АСТОЕ.

В **табл. 2** наведений приклад “Скелетної схеми обліку електроенергії структурними підрозділами” за залишковим принципом. По такому принципу потрібно менше точок обліку, але неможливо звести баланс технічного та комерційного обліку.

Другий необхідний документ — технічне завдання (ТЗ) на розробку АСТОЕ.

В ТЗ повинно вказуватися типи лічильників, які будуть встановлюватися на приєднаннях технічного обліку електроенергії, період опитування (інтеграції) приладів обліку, типи ліній зв’язку та необхідного

**Таблиця 1. Скелетна схема обліку електроенергії структурними підрозділами балансовим методом**

| № з/п | № фідера (приєднання) | На якій підстанції облік, місце підключення | Назва устаткування, назва підрозділу, на який іде облік | Коефіцієнт обліку | Розрахункова величина середньомісячного електроспоживання, кВт·год | Додавати або віднімати |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Цех 1** | | | | | | |
| 1 | 1Г | ГПП 1 | 1 ввод на п/ст 1 | 12000 | — | Додавати |
| 2 | 3В | ГПП 1 | 1 ввод на п/ст 2 | 7 200 | — | Додавати |
| 3 | 2 | П/ст 2 | АД-1 4800 кВт | 1800 | — | Додавати |
| 4 | 3 | П/ст 2 | АД-2 4800 кВт | 1800 | — | Додавати |
| 5 | 1 | П/ст 2 | КУ | 1800 | — | Додавати |
| **Цех 2** | | | | | | |
| 1 | 3Г | ГПП 1 | 1 ввод на п/ст 3 | 12000 | — | Додавати |
| 2 | 5В | ГПП 1 | 1 ввод на п/ст 4 | 7 200 | — | Додавати |
| 3 | 4 | П/ст 2 | ТП-1 Т-1 | 1800 | — | Додавати |
| 4 | 5 | П/ст 2 | ТП-2 Т-1 | 1800 | — | Додавати |

**Таблиця 2. Скелетна схема обліку електроенергії структурними підрозділами за залишковим принципом**

| № п/п | № фідера (приєднання) | На якій підстанції облік, місце підключення | Назва устаткування, назва підрозділу, на який іде облік | Коефіцієнт обліку | Розрахункова величина середньомісячного електроспоживання, кВт·год | Додавати або віднімати |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Цех 1** | | | | | | |
| 1 | 1Г | ГПП 1 | 1 ввод на п/ст 1 | 12000 | — | Додавати |
| 2 | 3В | ГПП 1 | 1 ввод на п/ст 2 | 7 200 | — | Додавати |
| 3 | 4 | П/ст 2 | ТП-1 Т-1 | 1800 | — | Віднімати |
| 4 | 5 | П/ст 2 | ТП-2 Т-1 | 1800 | — | Віднімати |
| **Цех 2** | | | | | | |
| 1 | 3Г | ГПП 1 | 1 ввод на п/ст 3 | 12000 | — | Додавати |
| 2 | 5В | ГПП 1 | 1 ввод на п/ст 4 | 7 200 | — | Додавати |
| 3 | 4 | П/ст 2 | ТП-1 Т-1 | 1800 | — | Додавати |
| 4 | 5 | П/ст 2 | ТП-2 Т-1 | 1800 | — | Додавати |

обладнання для передачі даних з лічильників технічного обліку на сервер.

Доцільно передбачати можливість розширення АСТОЕ в зв'язку з розширенням виробництва. Персонал, котрий експлуатуватиме АСТОЕ, повинен це робити власними силами без залучення розробника АСТОЕ.

В ТЗ необхідно навести вимоги до програмного забезпечення (ПЗ). Програмне забезпечення АСТОЕ повинно автоматично розраховувати баланс між приходом електроенергії по комерційному обліку та її відпуску з дискретністю надходження даних з лічильників комерційного та технічного обліку (30 хв). Дані про комерційний облік представлені в файлах програми "Microsoft Excel". ПЗ повинно забезпечити зведення даних як комерційного, так і технічного обліку в один файл.

ПЗ повинно вирішувати такі завдання:

- автоматична відправка щодобових (декадних, місячних) звітів про споживання електроенергії в структурні підрозділи по електронній пошті;

В ТЗ повинні бути вимоги до безпечного улаштування вторинних кіл. Усі кола технічного обліку повинні бути підключені до вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів струму та напруги через випробувальні блоки (комунікаційні колодки).

## ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В АСТОЕ

В АСТОЕ доцільно вимірювати:

- параметри якості електроенергії, що вимірюються та збираються електронними лічильниками згідно ДСТУ EN 50160:2014 [1] (фазні ($U_A$, $U_B$, $U_C$,) або лінійні ($U_{AB}$, $U_{CA}$, $U_{BC}$) напруги;
- частоту ($f$);
- усталені відхилення напруги ($\Delta U_y$);
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги $K_U$;
- коефіцієнт $n$-ї гармонічної складової напруги $K_{U(n)}$;
- коефіцієнт несиметрії напруги за оберненою та нульовою $K_{2U}$ та $K_{0U}$ послідовністю відповідно.

## ВИСНОВКИ

Правильна побудова АСТОЕ дозволить ефективно займатися енергозбереженням на промислових та інших підприємствах. Докладно та ясно складені документи, необхідні для створення системи технічного обліку електроенергії (скелетна схема, технічне завдання) дадуть можливість створити повноцінну та розвинуту автоматизовану систему технічного обліку електроенергії.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ EN 50160:2014. Національний стандарт України. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Видання офіційне. К.: Мінекономрозвитку. 2014. 28 с.

НДПКІ "МОЛНІЯ"

**Фахівці НДПКІ "Молнія"** пропонують послуги з діагностики систем заземлення та блискавкозахисту, забезпечення електромагнітної сумісності для об'єктів критичної інфраструктури. Діагностика виконується приладами власного виробництва та розробленою нами методикою, затвердженою Міністерством палива та енергетики України. Також виконуємо випробування на дію прямого удару блискавки і розробляємо спеціалізовані високовольтні випробувальні установки.

Для співпраці просимо зв'язатися з нами за контактами:

**Сергій Руденко** +380 99 189 00 37
**Денис Коліушко** +380 68 880 99 47

УДК 621.31

Надійшла Received 16.04.2025

# МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ НАВАНТАЖЕННЯ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

**Я.С. Бедерак,**
канд. техн. наук,

**ПрАТ "Азот",**
м. Черкаси

**М.О. Подобайло,**
інженер,

**ТОВ "Schneider Electric Україна"**
м. Київ

## ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ

**Мета публікації** — описати функціональні можливості, відмінності та особливості роботи автоматизованої системи технічного обліку електроенергії (АСТОЕ) та автоматизованої системи контролю навантаження споживачів електроенергії (АСКН).

## ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО НЕОБХІДНІСТЬ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

Згідно Кодексу комерційного обліку [1] електроенергії у усіх споживачів, навантаження яких більше 150 кВт, повинна бути впроваджена автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). З 2019 року в Україні працює "Ринок на добу наперед та внутрішньодобовий ринок". Згідно "Правил ринку "на добу наперед" та внутрішньодобового ринку" [2] ціна електроенергії для промислового підприємства Ц може мати вигляд:

$$Ц = x \cdot p + (x - pr) \cdot p_{+} \cdot I_{(x-pr)>0} + (pr - x) \cdot p_{-} \cdot I_{(x-pr)<0} + П + У, \quad (1)$$

де:

- $x$ — фактичне споживання електроенергії підприємством протягом години, кВт·годин;
- $pr$ — заплановане споживання підприємства, кВт·годин;
- $p$ — ціна на електроенергію на ринку на добу вперед, гривень/кВт·годин;
- $p_{+}$ — ціна на електроенергію на ринку при перевищенні фактичного споживання над запланованим, гривень/кВт·годин;
- $p_{-}$ — ціна на електроенергію на ринку при перевищенні планованого споживання над фактичним, гривень/кВт·годин;
- П — втрати електроенергії на підприємстві між межею балансової належності та місцем встановлення приладів обліку, кВт·годин;
- У — вартість послуг постачальника електроенергії, гривень;
- $I$ — функція Хевісайду ($I$=0 при $x–pr<0$ та $I$=1 при $x–pr\geq0$ для виразу з $p_{+}$; $I$=1 при $x–pr<0$ та $I$=0 при $x–pr\geq0$ для виразу з $p_{-}$).

Купівля електроенергії на такому "Ринку..." має низку особливостей:

1. Якщо електроенергії погодинно замовлено більше, ніж спожито, то неспоживану електроенергію викуповують у підприємства за ціною набагато меншою, ніж замовило її підприємство.

2. Якщо електроенергії погодинно замовлено менше, ніж спожито, то необхідну додатково електроенергію купують за ціною в кілька разів більше, ніж замовило підприємство спочатку.

Щоб уникнути таких ситуацій, особливу роль відіграє контроль електроспоживання на підприємстві.

Процес електроспоживання багатьом представляється дуже органічним: скільки електроенергії необхідно споживачеві, таку кількість і має забезпечити служба головного енергетика. Про управління цим процесом замислюватися як правило на виробництві часу не залишається. Для більшості керівників на першому місці стоїть план випуску продукції і на те, що заважає виконанню плану потрібно вперто боротися.

Однак процесом електроспоживання можна керувати таким чином, щоби з безлічі можливих режимів вибрати один, який найбільше задовольняє завдання регулювання.

За рахунок адміністративних рішень можна впорядкувати режими роботи електроустаткування та технологічних резервів. Для цього на підприємствах розробляється

план-графік проведення регулювальних заходів, що постійно діють, у години максимуму активних навантажень енергосистеми.

Подальшого зниження навантаження в години максимуму навантажень енергосистеми можна досягти за рахунок оптимізації режимів роботи електрообладнання та можливої зміни технологічних процесів без зниження випуску продукції.

В даний час є два основні способи для усунення фінансових втрат у разі відхилення фактичного споживання електроенергії від планового:

- жорстке лімітування електроспоживання, під час якого на підприємстві обмежується виробництво у разі відхилення від запланованих значень;
- точне прогнозування електроспоживання, у якому складаються точні плани виробництва, і, як наслідок, точні прогнози електроспоживання.

Перший спосіб важко реалізувати. Деяке обладнання неможливо зупинити, інше важко контролювати.

Залишається другий спосіб — точне прогнозування електроспоживання за допомогою часових рядів, регресійного аналізу. Точний прогноз електроспоживання на наступну добу та відсутність відхилення від заявлених величин відіграє важливу роль для зменшення величини оплати за електроенергію.

У другому способі є два підходи:

1. Прогнозування електроспоживання окремих цехів і потім об'єднання отриманих прогнозів у загальний прогноз по всьому підприємству.

2. Прогнозування електроспоживання по всьому підприємству.

Дослідження показують, що збудовані моделі по всьому підприємству можуть добре описувати тренд, але не можуть вловити внутрішньодобову мінливість електроспоживання.

Для отримання якісного прогнозу загалом підприємству необхідно побудувати досить точні моделі для структурних підрозділів.

Доцільно використовувати обидва підходи одночасно.

Можна складати рівняння залежності електроспоживання за кожним структурним підрозділом від одного або кількох факторів, від яких воно залежить. Таке рівняння (його називають математичною моделлю) складається або за допомогою лінійної або нелінійної множинної регресії, або шляхом використання методу групового обліку аргументу (або будь-якого іншого методу). Для одно номенклатурних цехів та виробництв це нескладне завдання. Математична модель дозволяє оперативніше реагувати на пере- або недо-витрати електроенергії.

Можливо звести до мінімуму фінансові втрати, пов'язані з відхиленням фактичного споживання електроенергії від планового, лише за наявності АСКН або АСТОЕ.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АСТОЕ ТА АСКН

Автоматизована система контролю навантаження (АСКН) та автоматизована система технічного обліку електроенергії (АСТОЕ) виконують різні завдання в енергоменеджменті промислових підприємств.

Порівняльний аналіз функціоналу АСКН та АСТОЕ наведений в **табл. 1**.

## ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ АСКН ТА АСТОЕ

Системи технічного обліку працюють з довшими періодами інтеграції (15–30 хвилин), що не підходить для запобігання короткочасним пікам потужності. Стандартні лічильники електроенергії не дозволяють контролювати динаміку споживання з інтервалами в 1–3 хвилини, що робить їх непридатними для оперативного управління навантаженнями. Існують моделі лічильників, які можуть одержувати 5-хвилинні значення електроспоживання в точках обліку, але коли таких точок багато, то зчитування даних займає певний час, і лічильники за 5 хвилин не встигнуть передати дані.

**Таблиця 1. Порівняльний аналіз функцій АСКОЕ та АСКН**

| Функція | АСКН | АСТОЕ |
|---|---|---|
| Мета системи | Контроль та керування потужністю для оптимізації енергоспоживання | Облік та аналіз обсягів споживання електроенергії для розрахунків та звітності |
| Період вимірів | Висока частота (від 1 с до 3 хвилин) для оперативного контролю | Довгострокові виміри (15–30 хвилин і більше) для балансових розрахунків |
| Контроль потужності | Основне завдання — контроль поточного навантаження та запобігання пікам | Відстеження споживання за розрахункові періоди |
| Прогнозування та аналіз навантаження | Прогнозування потужності, управління навантаженням у реальному часі | Аналіз історичних даних, розрахунки за тарифами |
| Штрафи за перевищення лімітів потужності | Дозволяє мінімізувати штрафи за перевищення договірної потужності | Не запобігає штрафам, а лише фіксує факт перевищення |
| Інтеграція з управлінням електроспоживанням | Інтеграція з релейною автоматикою та системами управління навантаженням | Інтеграція з розрахунковими системами енергопостачальної організації |
| Контроль якості електроенергії | Може включати аналіз коефіцієнта потужності, гармоніки, дисбалансу фаз | Орієнтована на облік споживання, який не завжди підтримує аналіз якості |
| Відповідність вимогам ринку електроенергії | Дозволяє брати участь у ринку "на добу вперед", знижувати витрати | Забезпечує точний облік енергоспоживання для комерційних розрахунків |

**Таблиця 2. Ефективність застосування АСКН залежно від наявності АСТОЕ**

| Критерій | За наявності АСТОЕ | За відсутності АСТОЕ |
|---|---|---|
| Контроль споживання потужності | Висока точність, можливість інтеграції з АСТОЕ для єдиного аналізу даних | Складність отримання точних даних без додаткового обладнання |
| Зниження пікових навантажень та штрафів | Можливість прогнозування та оперативного управління навантаженням | Потрібно встановлення додаткових вимірювальних приладів |
| Оптимізація енергоспоживання | Глибокий аналіз даних, виявлення неефективних режимів роботи устаткування | Можливе лише часткове керування навантаженням |
| Автоматизація процесів управління | Можлива повна інтеграція з АСТОЕ для автоматичного регулювання потужності | Часткова автоматизація, що потребує додаткових рішень |
| Економія витрат | Максимальний ефект за рахунок інтеграції АСКН з АСТОЕ та використання даних з АСТОЕ | Економія можлива, але потребує великих початкових вкладень |

АСТОЕ фіксує споживання, але не керує ним у реальному часі. АСТОЕ забезпечує точний облік та звітність. АСКН контролює потужність у реальному часі, знижуючи пікові навантаження та штрафи. Інтеграція обох систем дозволяє підвищити енергоефективність підприємства та знизити витрати на електроенергію.

АСКН та АСТОЕ не можуть повністю замінити один одного, але їх спільне використання дає максимальну вигоду для промислового підприємства.

Ефективність застосування АСКН залежно від наявності АСТОЕ розглянута в **табл. 2**.

## ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО АСКН ТА АСТОЕ

**Вимоги до АСКН:**

1. Точність вимірювань — клас точності не гірший за 0,5 для контролю активної та реактивної потужності.
2. Оперативність обробки даних — мінімальна затримка вимірювань та реакцій системи.
3. Гнучкість управління — можливість роботи в автоматичному та ручному режимах.
4. Прогнозування та аналітика — математичні моделі для прогнозування навантаження.
5. Інтерфейси інтеграції — підтримка стандартних протоколів обміну даними (Modbus, IEC 61850).
6. Зберігання даних про навантаження та управління.
7. Постійний моніторинг параметрів електроенергії — підтримка вимірювання сплесків, провалів, гармонік, коефіцієнта несинусоїдальності.

**Вимоги до АСТОЕ:**

1. Постійний моніторинг параметрів електроенергії — активна та реактивна потужність, напруга, частота, коефіцієнт потужності.
2. Доступ до даних у реальному часі — можливість віддаленого доступу та інтеграції з АСКН.
3. Висока надійність та резервування даних — захист від втрати інформації.
4. Сумісність із корпоративними інформаційними системами — можливість роботи з ERP, SCADA.
5. Автоматизація звітності та аналізу споживання — формування звітів для енергоменеджменту та бухгалтерії.

Впровадження АСКН найефективніше за наявності АСТОЕ, оскільки дані технічного обліку дозволяють оптимально керувати потужністю та знижувати енерговитрати. За відсутності АСТОЕ впровадження АСКН потребує додаткових інвестицій у вимірювальне обладнання та інтеграцію із системами контролю енергоспоживання.

Необхідно відзначити, що при відсутності АСКН АСТОЕ не здатна оперативно відмічати зміни навантаження. А АСКН без АСТОЕ може не тільки фіксувати та давати сигнали про зміну навантаження, але й розраховувати електроспоживання структурних підрозділів підприємств.

## СХЕМА ПОБУДОВИ АСТОЕ ТА АСКН

Як правило, електронні лічильники електроенергії через пристрої збору–передачі даних (ПЗПД) або інше устаткування один раз на 15–30 хвилин по виділеним або оптоволоконним лініям зв'язку передають облікові дані на сервер. З сервером зв'язані декілька автоматизованих робочих місць користувачів АСТОЕ. При великій кількості точок обліку неможливо організувати частіше передачу даних з приладів обліку на сервер. Кількість точок в АСТОЕ повинна бути такою, щоб забезпечити баланс енергії по підприємству, цеху, підстанції напругою 6–154 кВ. Програмне забезпечення має бути здатним розраховувати баланс енергій за місяць, добу, годину. Кількість автоматизованих робочих місць повинна бути достатньою.

АСКН ґрунтується на вимірювачах (датчиках) потужності (Power Meter). Їхня інтеграція в автоматизовану систему контролю потужності (АСКН) дозволяє здійснювати моніторинг, аналіз та управління навантаженнями в реальному часі. Інформація з них, як правило зазвичай передається через панельні сервери на сервер. Облікові дані передаються здебільшого виділеним або оптоволоконним лініям зв'язку.

Докладний опис структури АСКН наведений нижче.

Перетворювачі вимірювальні цифрові активної і реактивної потужності трифазного струму (вимірювачі потужності), як правило, встановлюються в релейних відсіках комірок підстанцій, які живлять трансформатори 10/6, 6/0,4, 10/0,4 кВ та високовольтні двигуни. Ці датчики повинні передавати інформацію на сервер АСКН. Вимірювачі потужності повинні бути змонтовані на приєднаннях електродвигунів 6 кВ та силових трансформаторів 6/0,4 кВ,

10/0,4 кВ згідно розробленого переліку. Датчики повинні вимірювати з дискретністю 1–3 хвилини активну потужність, струм на приєднанні та коефіцієнт потужності (або реактивну потужність). Сучасні датчики при необхідності можуть вимірювати або розраховувати ще й параметри якості електроенергії.

В АСКН необхідно розробити графічний інтерфейс користувача, який би забезпечував можливість розрахунку, контролю і моніторингу поточного навантаження по цехам підприємства і всього підприємства в цілому. Необхідно виконати сигналізацію підвищення і зниження навантаження по підприємству, по кожному цеху з опцією завдання меж допустимого наватаження системним адміністратором АСКН. Програмне забезпечення АСКН повинно забезпечити розрахунок активної та реактивної електроенергії з періодом інтеграції 1 година, 1 доба, 1 місяць.

Доцільно забезпечити можливість передачі даних про поточну потужність в EPR-системи.

## ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЧІВ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ В АСКН

Вимірювачі потужності (аналізатори потужності) призначені для вимірювання параметрів енергоспоживання та якості електроенергії (КЕ).

Ключові технічні характеристики датчиків потужності зведені в **табл. 3**.

**Приклади найпоширеніших промислових датчиків потужності із функцією аналізу якості електроенергії:**

1. Schneider Electric серій PowerLogic ION9000, або PM8000, або PM3000.
2. Siemens серії SENTRON PAC4200.
3. Socomec серій DIRIS Q800, Countis.

Використання вимірювачів потужності для контролю якості електроенергії

Не останній параметр, за яким дозволяє слідкувати система АСКН — це якість електричної енергії. Стандарт, який визначає характеристики напруги — ДСТУ EN 50160:2014 [3]. Нижче на **рис. 1** наведено приклад викривлень синусоїди під впливом різних перехідних та статичних процесів в мережі.

Можливі сфери застосування вимірювачів потужності для контролю параметрів якості електроенергії в мережі та оцінювання впливу їх на мережу та обладнання описані в **табл. 4**.

Таким чином, доцільно використання вимірювачів потужності для контролю якості електроенергії.

## ЗАСТОСУВАННЯ АСКН ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ НА РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ “НА ДОБУ НАПЕРЕД”

Автоматизована система контролю потужності (АСКН) відіграє ключову роль в управлінні енергоспоживанням промислових підприємств, особливо в умовах участі в ринку електроенергії “на добу наперед” (РДН). Грамотне використання АСКН дозволяє

**Таблиця 3. Ключові технічні характеристики датчиків потужності**

| Параметр | Опис |
|---|---|
| Схема підключення | • Однофазна або трифазна, 2-провідна, 3-провідна, 4-провідна; зірка або трикутник.<br>• Живлення від трансформаторів струму або від кіл оперативного струму. |
| Точність вимірювання потужності | • Клас точності 0,1s, 0,2s або 0,5s |
| Діапазон вимірюваної напруги | • 57,7 В /100 В/230 В/400 В/690 В (залежно від системи) |
| Діапазон вимірюваного струму | • До 5 А (пряме підключення) або до кількох кА (з трансформаторами струму) |
| Частота вимірюваної напруги та струму | • 45–65 Гц, підтримка вимірювання гармонік |
| Період дискретності вимірювань | • Від 1 секунди до 5 хвилин (налаштовується) |
| Вимірювання коефіцієнта потужності (cosφ) | • Від –1 до 1, визначення режиму генерації та споживання реактивної потужності |
| Вимірювання реактивної та повної потужності | • Варіанти вимірювання Q (реактивна потужність) та S (повна потужність) |
| Аналіз гармонік | • До 63-ї гармоніки (вищі гармоніки струму та напруги) |
| Вимір несиметрії напруги та струму | • Аналіз дисбалансу за фазами |
| Вимірювання сплесків, провалів та перенапруг | • Фіксація стрибків напруги та частоти в реальному часі |
| Протоколи зв’язку | • Modbus RTU, Modbus TCP, IEC 61850, DNP3 |
| Способи передачі даних | • Ethernet, RS485, WiFi, 4G/LTE, WLAN |
| Підтримка цифрових та аналогових виходів | • Можливість підключення до контролерів та релейної автоматики. Тип входів/виходів: (DI, DO, AI, AO, Relay Out) |
| Інтерфейси взаємодії з SCADA | • Підтримка OPC та веб-інтерфейсів для відображення даних |
| Стандарти вимірювальних можливостей | • Відповідність класу точності: МЕК 62053-22, МЕК62053-24.<br>• Відповідність стандартам моніторингу якості електричної енергії: МЕК61000-4-30 клас А, IEC62586-1/IEC62586-2 |

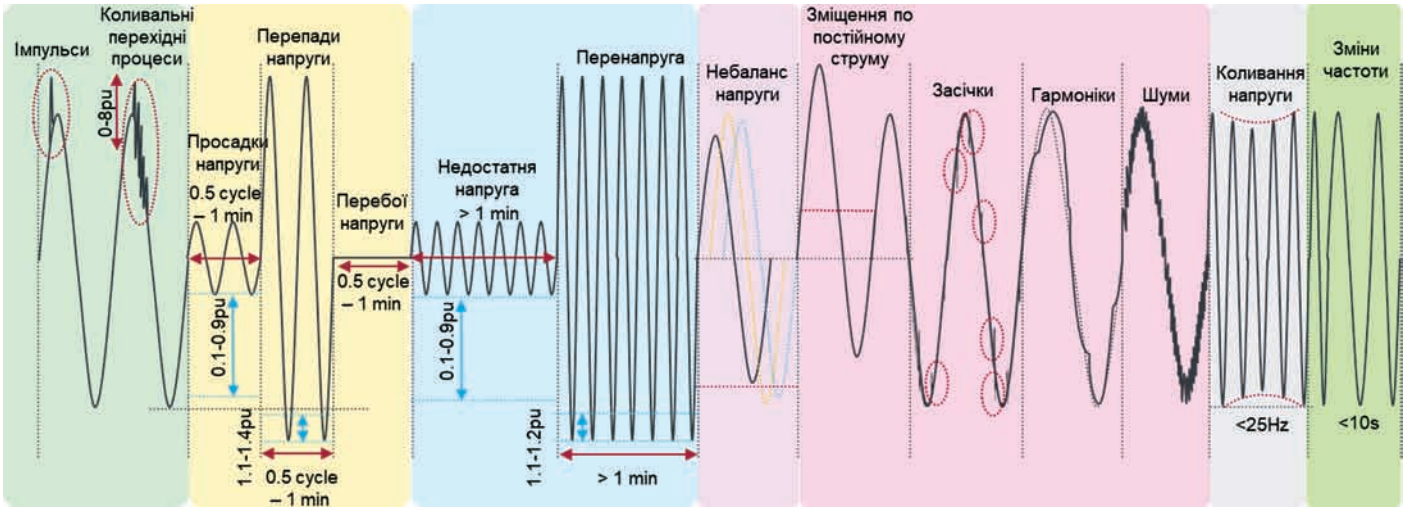



**Рис. 1.** Приклад викривлень синусоїди, створеної за даними з вимірювача потужності

**Таблиця 4. Причини порушення форми кривої напруги та вплив її на роботу**

| Категорія | Причини | Вплив |
|---|---|---|
| Просадки (провали) напруги | Місцеві або мережеві аварії, індуктивне навантаження; увімкнення–вимкнення навантаження | Відключення чутливого обладнання, скидання систем керування; гальмування, ривки на двигунах |
| Сплески напруги | Перемикання конденсаторів, вимкнення великого навантаження; фазні аварії | Відключення чутливого обладнання, пошкодження ізоляції та обмоток, пошкодження електронних компонентів |
| Перенапруга | Перемикання навантаження, конденсаторів; регулювання напруги | Проблеми з обладнанням, що потребує постійної сталої напруги |
| Гармоніки | Промислові печі, нелінійні навантаження; обладнання з випрямлячами; намагнічування трансформаторів, генераторів | Функціонування з перебоями чутливого обладнання та реле; вихід з ладу запобіжників конденсаторів, або самих конденсаторів; електромагнітні завади |
| Зміна частоти | Втрата генерації; екстремальні режими навантаження | Повільніша робота двигунів; перелаштування фільтрів гармонік |
| Коливання напруги | Приводи змінного струму, гармонічні складові струму, зварювальні апарати, дугові печі | Миготіння флуоресцентних ламп та ламп розжарювання |
| Швидка зміна напруги | Запуск двигунів, перемикання обмоток трансформатора | Миготіння світлового потоку, спрацювання захисту обладнання |
| Небаланс напруги | Небаланс навантажень, небаланс імпедансів | Перегрів двигунів/генераторів, порушення роботи трифазних споживачів |
| Перебої напруги | Аварії мережі, аварії обладнання, збої в керуванні, спрацювання захисту автоматичних вимикачів | Втрата живлення обладнання замовника, вимкнення комп'ютерної техніки, зупинки двигунів |
| Низька напруга | Тяжкі мережеві навантаження, втрата генерації, низький коефіцієнт потужності | Все обладнання без джерел безперебійного живлення |
| Імпульсні переходи | Блискавки, перемикання конденсаторів, нелінійні навантаження, регулювання напруги в мережі | Скидання систем керування, пошкодження чутливої електроніки, пошкодження ізоляції |

знижувати витрати, мінімізувати штрафи за перевищення потужності та підвищувати ефективність енергоспоживання.

**Функції АСКН для ефективної участі в РДН:**

1. Прогнозування споживання.
2. Автоматизоване керування навантаженням.
3. Управління реактивною потужністю для зниження штрафів за низький cosφ.
4. Контроль та корекція відхилень навантаження.
5. Моніторинг фактичного енергоспоживання у реальному часі.
6. Оперативний перерозподіл навантаження у разі відхилень від планів.
7. Взаємодія з АСТОЕ та комерційним обліком для точної реєстрації даних.

## ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ АСКН

**Економічна ефективність АСКН у роботі на РДН заключається в такому:**

***1. Зниження штрафів за відхилення від плану.***

На ринку електроенергії споживач зобов'язаний дотримуватись заявленого обсягу споживання. За відхилення накладаються штрафи (за коефіцієнтами залежно від точності прогнозу).

АСКН дозволяє мінімізувати штрафи за рахунок точного прогнозування та корекції споживання; оптимізувати закупівлю електроенергії під реальні потреби підприємства.

***2. Використання гнучкості тарифів.***

У години низьких цін можна збільшувати енергоспоживання, запускаючи енергоємні процеси. У періоди високих тарифів споживання скорочується за рахунок перерозподілу навантаження.

***3. Управління власною генерацією.***

Якщо підприємство має локальну генерацію (дизель-генераторні установки, сонячні панелі, накопичувачі енергії), АСКН може автоматично перемикатися на внутрішні джерела за високих цін на ринку.

Нижче наведений зразок розрахунку економічного ефекту для промислового підприємства з трьохзмінним неперервним режимом роботи з середнім навантаженням 50 МВт. Договірний обсяг потужності — 50 МВт.

Погодинні ціни певного дня "Ринку на добу наперед" можна одержати з сайту **https://www.oree.com.ua/index.php/IDM_graphs** [4]. Ціни наведені на 31.03.2025 р. та зведені в **табл. 5**. Середня ціна 1 МВт·год за добу складає 5428 грн. Розрахунок величини оплати за спожиту електроенергію здійснюється за формулою **(1)**, при чому для розрахунку треба знати значення $p$, $p_+$, $p_-$, де:

- $p$ — ціна на електроенергію на ринку на добу вперед, гривень/кВт·год;
- $p_+$ — ціна на електроенергію на ринку при перевищенні фактичного споживання над запланованим, гривень/кВт·год;
- $p_-$ — ціна на електроенергію на ринку при перевищенні планованого.

Для розрахунку економічного ефекту розглядається спочатку варіант, де є постійне середнє перевищення потужності без АСКН (наприклад, 1 МВт протягом всієї доби) та другий варіант, де завдяки АСКН, відхилення відсутнє. Різниця між вартістю оплати за електроенергію цих випадків і дасть значення економічного ефекту.

Таким чином, АСКН це необхідний інструмент для підприємств, які працюють на ринку електроенергії "на добу вперед". Вона дозволяє точно прогнозувати споживання, оперативно керувати навантаженням і мінімізувати витрати. Впровадження таких систем дає значну економію за рахунок зниження штрафів, оптимізації графіків споживання та гнучкості у використанні енергії.

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСКН ТА АСТОЕ ТА ВИМОГИ ДО НЬОГО

Для надійної роботи АСКН необхідно мати надійне серійне програмне забезпечення (ПЗ). Дуже рідко несерійне ПЗ працює надійно. Тому доцільно застосовувати ПЗ ведучих вітчизняних або закордонних виробників.

З вітчизняних ПЗ можна порекомендувати ПЗ підприємства "Енергоцентр" м. Чернігів, а з закордонних розробок розповсюджені серійні ПЗ фірм "Schneider Electric", "Siemens", "ABB".

**Як приклад, коротко дамо опис можливостей програмного забезпечення (ПЗ) "Power Monitoring Expert" від Schneider Electric.**

Таке ПЗ має такий базовий функціонал (наявність вкладок): відображення дашбордів (інформаційних панелей), діаграм, трендів, аварійних повідомлень та попереджень, формування звітів та збережених звітів.

На **рис. 2** зображено однолінійну схему моніторингу навантаження трансформаторної підстанції 20/0,4кВ. Однолінійна схема в реальному часі відображає дані по ключовим показникам, такі як: напруга, миттєва потужність. Ці показники можуть бути адаптованими під потреби користувача і відображати будь який з вимірюваних параметрів — до прикладу — коефіцієнт загальних гармонічних спотворень по напрузі.

Однолінійна схема є також інтерактивною. Це дозволяє — відкривати детальні відомості про конкретний лічильник/вимірювач, де можна побачити увесь перелік вимірюваних параметрів, записування аварій та попереджень, переходити до перегляду графіків по обраному пристрою (який відповідає за групу споживачів (або конкретний об'єкт/установку).

**Основні функції програмного забезпечення АСКН "Power Monitoring Expert":**

1. Безперервний моніторинг розгалуженої електромережі об'єкта, параметрів якості електроживлення та аналізу причин погіршення якості електроенергії незалежно від розташування та віддаленості точок виміру
2. Вимірювання, збереження виміряних та розрахованих параметрів в ODBC-сумісній SQL базі даних з моменту введення системи в експлуатацію.
3. Побудова на основі ПЗ СОЕ (систем обліку енергоресурсів) великих розподілених систем моні-

**Таблиця 5. Погодинні ціни на 31.03.2025**

| Номер часу | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вартість 1 МВт-год, грн | 3650 | 3100 | 2100 | 1077 | 1179 | 2700 | 4442 | 6900 | 6900 | 6900 | 6274 | 3840 |
| Номер часу | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Вартість 1 МВт-год, грн | 3099 | 3245 | 4569 | 4565 | 5600 | 8888 | 8891 | 9000 | 9000 | 9000 | 8894 | 6477 |

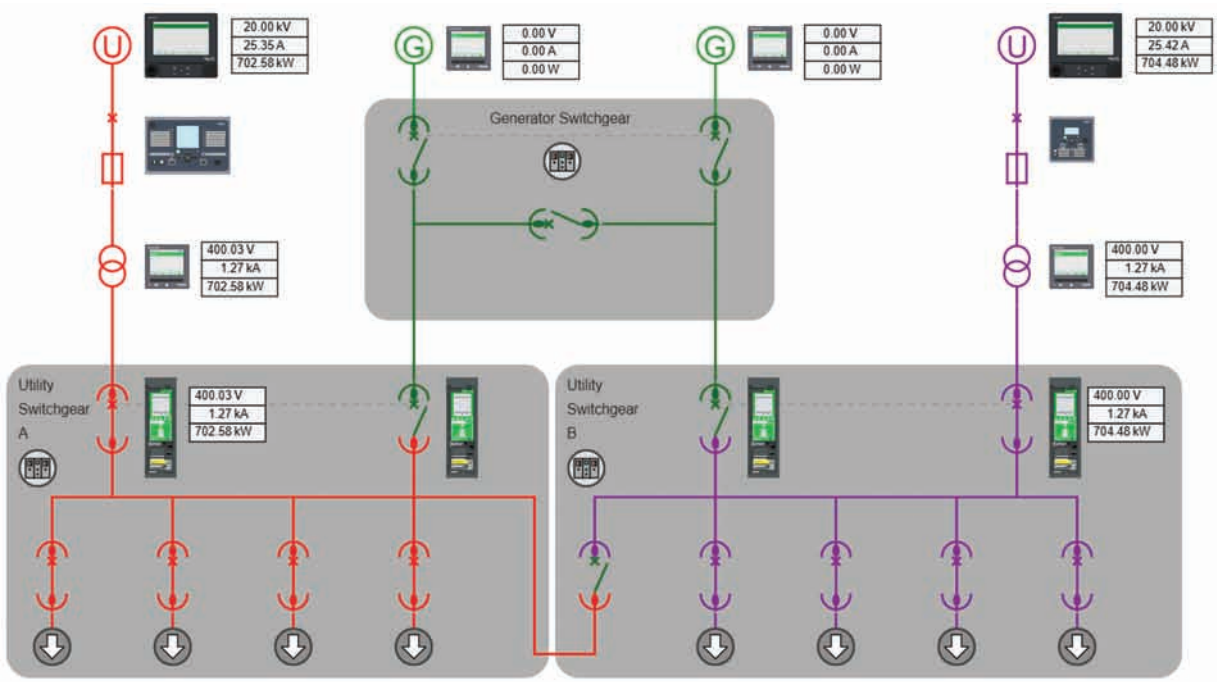



**Рис. 2.** Моніторинг навантаження на підстанції 20/0,4кВ

торингу, з розміщенням компонентів системи COE на різних фізичних серверах, із створенням необхідної кількості локальних серверів збору/збереження даних, інженерних робочих станцій та робочих станцій із функціями WEB-клієнта (WEB-станцій).

4. Аналіз енергоспоживання для виявлення та усунення нераціонального використання енергоресурсів та скорочення експлуатаційних витрат об'єкта.
5. Підтримка протоколів передачі даних Modbus TCP, Modbus RTU, ION, OPC та інтерфейсу WEB-сервісів.
6. Налаштування мережі точок вимірювання COE.
7. Діагностика стану зв'язку з пристроями COE.
8. Вбудована підтримка великої кількості продуктів.
9. Налаштування отримання даних за допомогою протоколів Modbus RTU, Modbus TCP, OPC.
10. Підтримка вимірювання параметрів електроенергії та інших енергоресурсів об'єкту.
11. Доступ до даних реального часу і до архівної інформації з помітками дати і точного часу з можливістю налаштування частоти опитування і запису.
12. Керування вбудованими дискретними виходами підключених пристроїв і синхронізація часу по протоколам Modbus RTU, Modbus TCP, ION.
13. Обмін даними по лініям зв'язку Ethernet, бездротовим каналам і Internet.
14. Масштабованість системи, що дозволяє додавати пристрої і клієнтські додатки для розширення системи.
15. Можливість редагування користувацьких алгоритмів роботи COE з можливістю відображення на екрані комп'ютера і відправки повідомлень на електронну пошту.
16. Можливість створення, редагування і зміни користувацьких екранів моніторингу.
17. Наявність у редакторі графіки Graphic Editor (входить у ліцензію розробника PME) вбудованої бібліотеки графічних об'єктів, а також можливості імпорту або створення нових об'єктів (однолінійних схем, планів розташування обладнання и т.д.).
18. Відображення у табличному вигляді поточних вимірювань з обранням декількох точок виміру і необхідних вимірів величин для швидкого порівняння.
19. Побудова графіків для будь-яких параметрів (і осцилограм для електропостачання) з метою контроля пікового споживання і відслідковування витрат енергоносія, аналізу тенденцій і можливістю прийняття рішення по розподілу навантажень і/або визначення обладнання, що потребує технічного обслуговування.
20. Можливість налаштування, створення або редагування звітів про витрати на енергію, її споживання та якості.

**Можливості інтерфейсу ПЗ "Power Monitoring Expert":**

1. Доступ до системи моніторингу енергоспоживання з будь-якого місця локальної мережі Ethernet.
2. Стандартний функціонал на сторінках WEB-інтерфейсу, що включає індикатори стану системи, аварійну сигналізацію та інформаційні панелі.
3. Діаграми для перегляду параметрів енергоресурсів з метою оцінки їхнього стану та аналізу тенденцій.
4. Табличний висновок поточних вимірювань з вибором кількох точок вимірювання та необхідних виміряних величин.
5. Виведення списку поточних аварійних сигналів з можливістю підтвердження.
6. Інформаційні панелі (Dashboards), що налаштовуються користувачем, що відображають дані поточних та архівних вимірювань у цифровому та

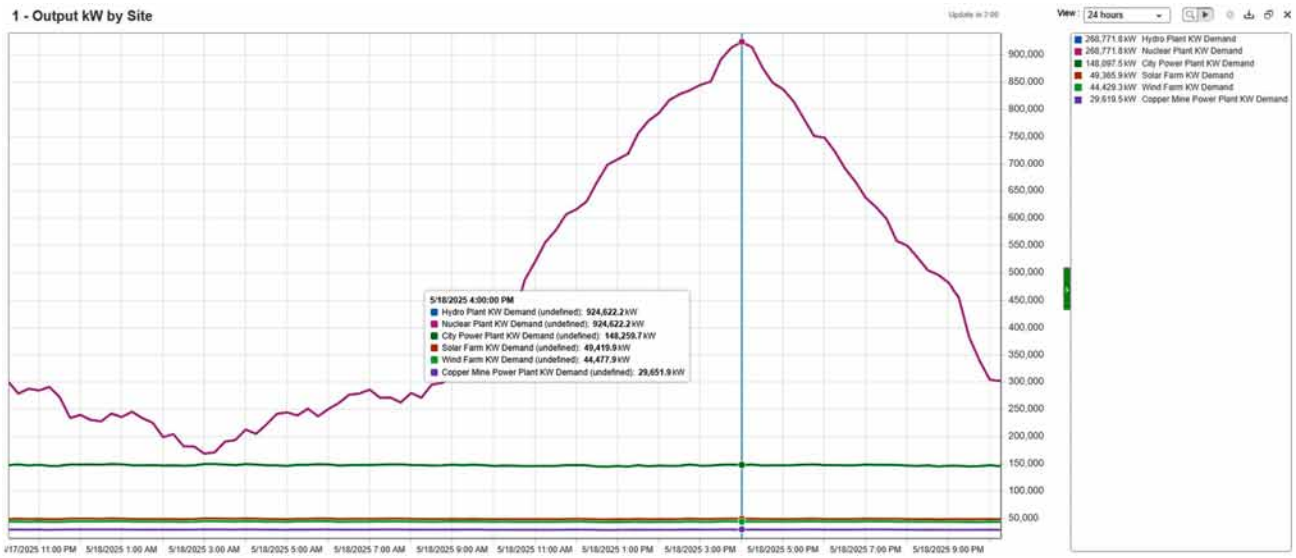



**Рис. 3.** Приклад структури виробітку електроенергії в енергетичній компанії

графічному вигляді, у вигляді діаграм, гістограм, графічні тренди.

7. Табличний висновок поточних вимірів з вибором кількох точок виміру та необхідних виміряних величин швидкого порівняння. Вибір готових таблиць з бібліотеки та збереження створених таблиць як шаблони.
8. Наявність редактора для налаштування, генерування або редагування звітів про витрати на енергію, її споживанні та якості.
9. Побудова графіків для будь-якого параметра (і осцилограм для електропостачання) з метою контролю пікового споживання та відстеження витрат енергоносія, аналізу тенденцій та можливістю подальшого прийняття рішення щодо перерозподілу навантажень та/або визначення обладнання, що потребує техобслуговування.

Графіки можуть бути відображені у різних візуальних стилях оформлення. Так, стандартний стиль **(рис. 3)** пропонує легенду до графіку, яку окрім загально-прийнятного вигляду можна бачити при переміщення курсору на графіку з прив'язкою до конкретної мітки часу.

ПЗ "Power Monitoring Expert" також дозволяє виконувати співставлення графіків для відстежування впливу конкретних агрегатів, чи об'єктів на рівень електроспоживання.

## ВИСНОВКИ

**1.** В публікації докладно описані функціональні можливості та особливості роботи автоматизованої системи технічного обліку електроенергії (АСТОЕ) та автоматизованої системи контролю навантаження (АСКН) споживачів електроенергії.

**2.** Зроблений порівняльний аналіз функцій, розглянуті особливості роботи, схеми побудови та розроблені вимоги до автоматизованої системи контролю навантаження та автоматизованої системи технічного обліку електроенергії.

**3.** Розглянуті технічні характеристики вимірювачів потужності для інтеграції в АСКН. Зроблений висновок о доцільності їх використання для контролю якості електроенергії.

**4.** Запропоновано використовувати автоматизовану систему контролю навантаження для оптимізації роботи на ринку електроенергії "на добу наперед", приведена наближена оцінка економічної ефективності від впровадження АСКН.

**5.** Наведені основні функції програмного забезпечення АСКН.

**6.** АСКН призначена здебільшого для динамічного контролю потужності. АСТОЕ забезпечує оперативне управління навантаженням та скорочення витрат.

**7.** За допомогою АСТОЕ можна фіксувати споживання, але не керувати ним у реальному часі. АСКН контролює потужність у реальному часі, знижуючи пікові навантаження та штрафи. Інтеграція одної системи з іншою дозволить підвищити енергоефективність підприємства та знизити витрати на електроенергію.

## ЛІТЕРАТУРА

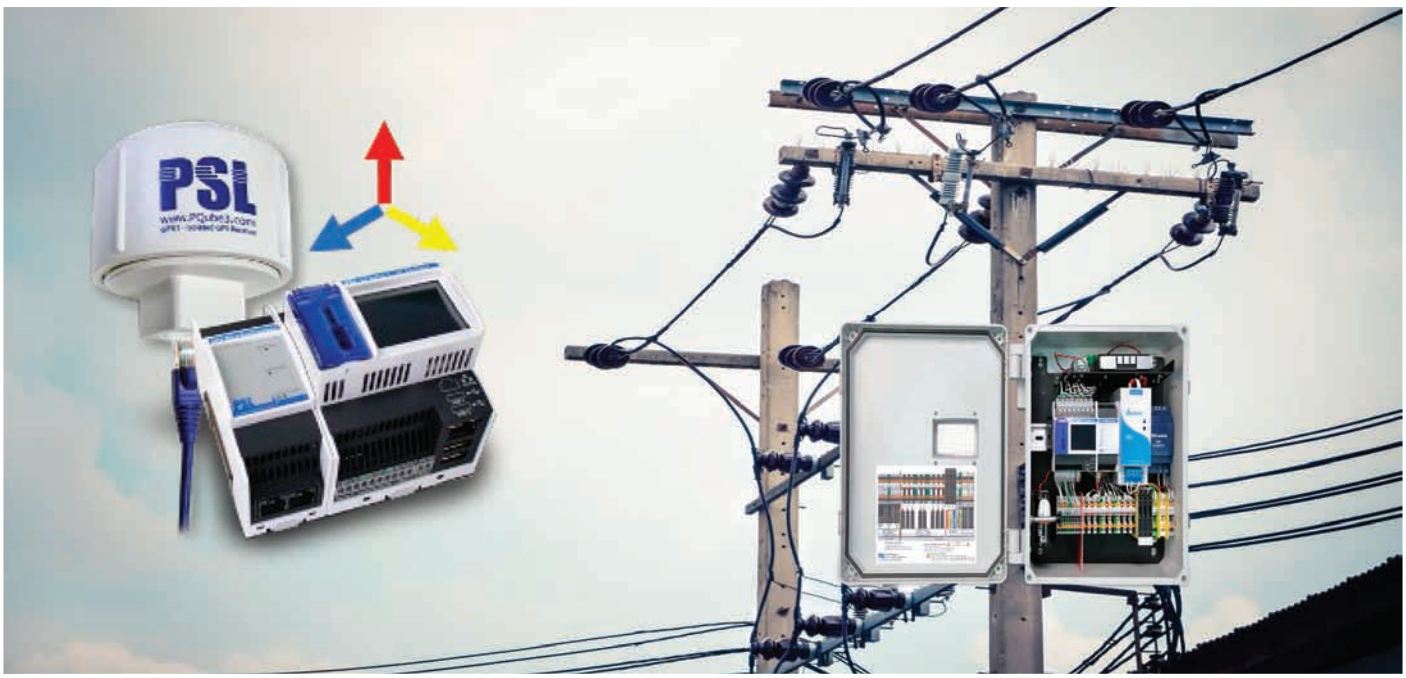
1. Кодекс комерційного обліку електричної енергії, затверджений Постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 311 із змінами, внесеними згідно з Постановами Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 716 від 20.03.2020; № 2451 від 01.12.2021; № 1249 від 04.10.2022; № 1495 від 15.08.2023; № 2276 від 05.12.2023; № 2418 від 12.12.2023; № 57 від 10.01.2024; № 1380 від 26.07.2024; № 1799 від 22.10.2024.
2. Правила ринку "на добу наперед" та внутрішньодобового ринку. Затверджено Постановою НКРЕКП 14.03.2018 № 308 із змінами, внесеними згідно з Постановами Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 879 від 31.05.2019, № 1169 від 24.06.2019, № 2485 від 26.11.2019, № 517 від 28.02.2020, № 2495 від 16.12.2020, № 828 від 19.05.2021, № 1740 від 06.10.2021, № 250 від 11.02.2022, № 1592 від 29.11.2022, № 390 від 28.02.2023, № 832 від 02.05.2023, № 370 від 22.02.2024.
3. ДСТУ EN 50160:2014. Національний стандарт України. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Видання офіційне. К.: Мінекономрозвитку. 2014. 28 с.
4. Електронний ресурс https://www.oree.com.ua/index.php/IDM_graphs

# OVERVIEW

POWERSIDE™

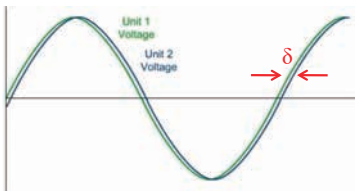
## microPMU

## A NEW MICRO-SYNCHROPHASOR MEASUREMENT TECHNOLOGY: HISTORY & APPLICATION



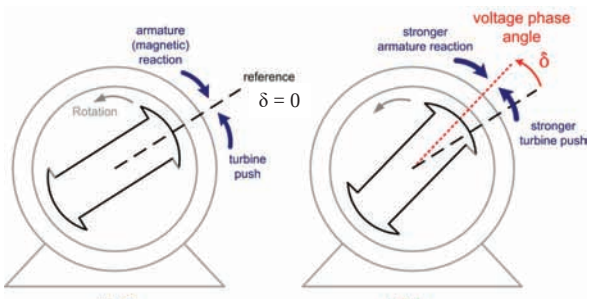

### SYNCHROPHASORS FOR DISTRIBUTION!

### SYNCHROPHASORS COMPARE VOLTAGE PHASE ANGLE AT DIFFERENT LOCATIONS



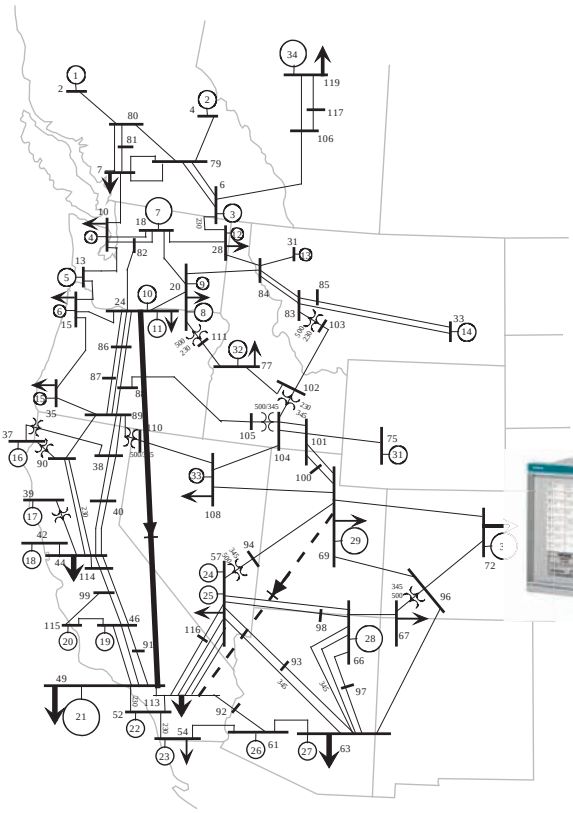

the small phase angle δ between different locations on the grid drives a.c. power flow

$$P \approx \frac{V_1 V_2}{X} \sin \delta_{12}$$

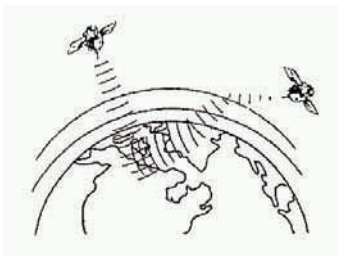



power flows from Unit 1 toward Unit 2

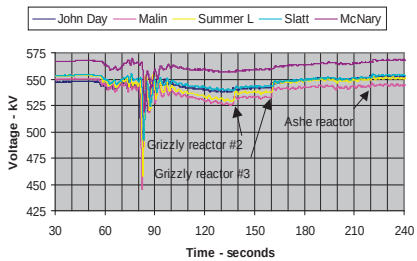
## SYNCHROPHASORS COMPARE VOLTAGE PHASE ANGLE AT DIFFERENT LOCATIONS



synchronous data



Phasor Measurement Units (PMUs)




useful real-time information for system operators

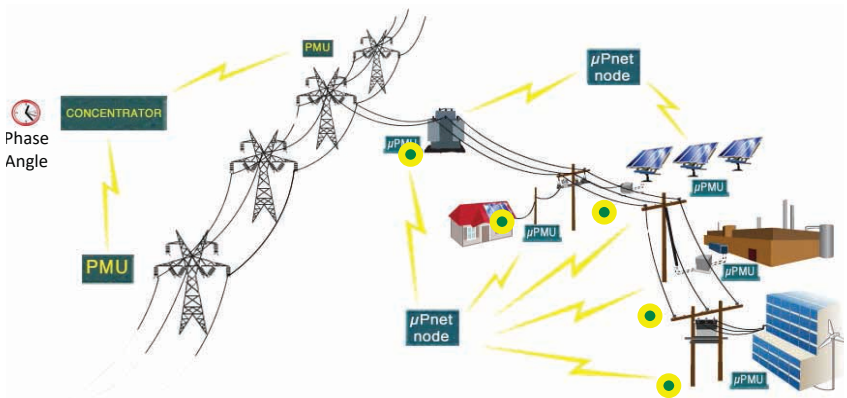
Power Flow and Oscillation

## NOW ALSO DISTRIBUTION

- Integrate distributed generation (DG) into grid

## DISTRIBUTION SYNCHROPHASOR NETWORK CONCEPT:

Create observability and transparency for high-voltage circuits to support integration of distributed resources




Synchrophasors (PMUs) already increasingly being deployed on transmission systems

Micro-synchrophasor (μPMU) network for distribution

## CHALLENGES OF MEASURING PHASE ANGLE DIFFERENCES IN DISTRIBUTION (VS. TRANSMISSION)

**Transmission**

- Long distances, widely-spaced conductors = big L, big angles

**Distribution**

- Short distances, bundled conductors = small L, tiny angles

**Transmission**

- Homogenous

**Distribution**

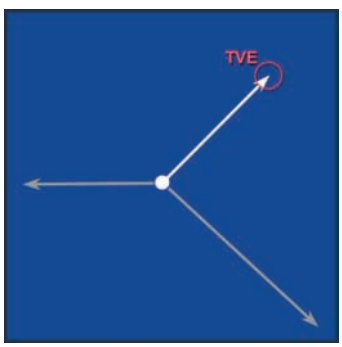
- Heterogenous, unbalanced

**Transmission**

- ±1° adequate
- ±1% TVE

**Distribution**

- ±0.001° adequate
- Does TVE apply? 0.01%? (Calibration challenges...)
- Error budget measured in millidegrees; at 60 Hz, 1 millidegree is 46 nanoseconds



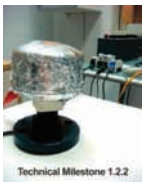

## CHALLENGES OF MEASURING MILLIDEGREEPHASE ANGLES (46 NSECPER MILLIDEGREE)

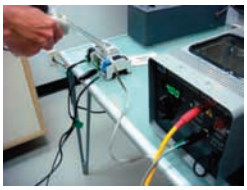
**GPS signals**

- ±1 microsecond — typical GPS receiver (disciplined 150 MHz clock)
- Cable transit time — ~7 nsecper meter (autocalibrate using time-of-round-trip)

## ARPA-E MICRO-SYNCHROPHASOR BASED ON COMMERCIAL PQUBE3® INSTRUMENT

- 32 GB of on-board storage
- TCP-IP (ethernet) coms
- Certifications: UL, emissions, CE, etc.
- Five ±1000V, 0.01% voltage channels
- Eight 0.01% current channels
- “Class A” Power Quality recorder
- “Class 0.2” Energy Revenue Meter
- Snap-on module expandability



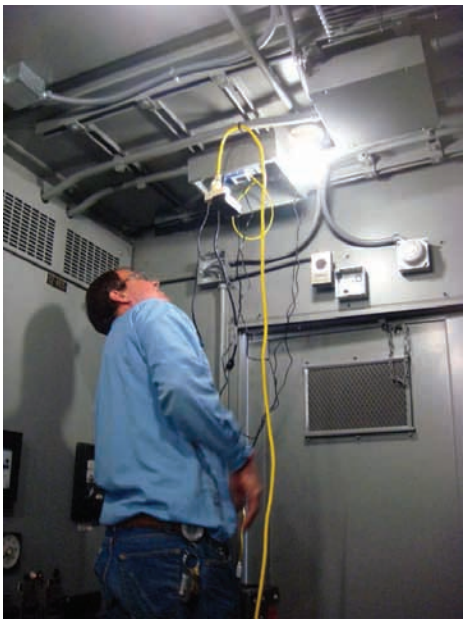


## THE NEW MICRO-PMU

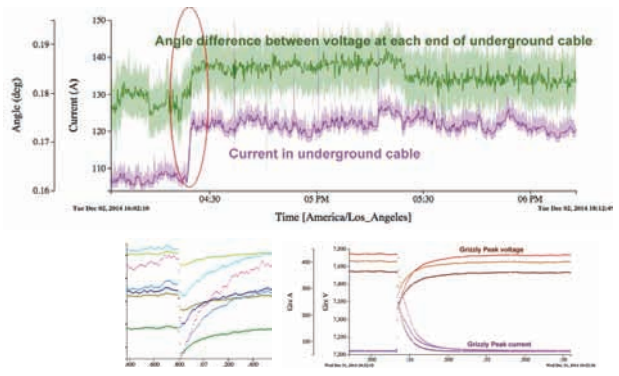
Micro-synchrophasor (μPMU) installed at Grizzly Substation reporting to UCB server via 4G wireles

## ARPA-E MICRO-SYNCHROPHASORS FOR DISTRIBUTION:

- Field installations at substations, end-points completed
- Patents filed
- Several months/years of data
- ±0.002° accuracy confirmed (roughly 500 times better than standard PMU)
- Research Software available
- Installations in progress for Non-ARPA projects around the world



## μPMU DATA RESULTS




## MICROPMU–ELECTRON MICROSCOPE FOR GRID STABILITY

A “microPMU” is a PSL PQube® 3 instrument with 3 additions:

1. a specially calibrated GPS receiver (that’s not an antenna –it is an antenna, plus a GPS receiver, plussome clever digital circuits — and the cable you see is entirely digital, not RF co-ax),
2. special firmware in the PQube 3 that converts it into the most precise synchrophasorinstrument ever deployed, and
3. a special calibration process.

Contact Us in Ukraine

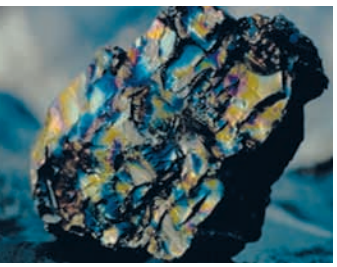
POWER ТЭССА

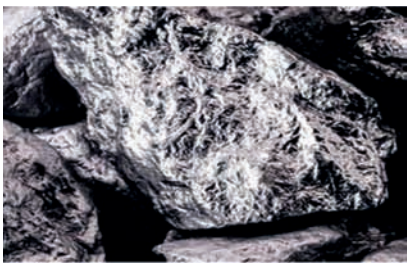
**E-mail: powertessa@gmail.com**
**Тел.: +380 98 054 61 87**
**Михайлов Валентин Петрович**

IX МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

# MINING & MINERALS EXPO

## ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ





**14–16 ЖОВТНЯ 2025**

**МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**
**м. Київ, Броварський пр-т, 15**

**+ 38 (066) 921-47-51**
**sher@iec-expo.com.ua**
**www.iec-expo.com.ua**

IX МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

# НАФТОГАЗ ЕКСПО 2025

**14–16 жовтня**

**МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**
**Київ, Броварський пр-т, 15**
**тел.: + 38 (066) 921-47-51**
**e-mail: sher@iec-expo.com.ua**
**www.iec-expo.com.ua**

POWERSIDE®

All our energy, in your power

Data Sheet

# microPMU Synchrophasors

## Overview

The microPMU provides time synchronized measurements of dynamic power flows in distributed energy resource (DER) impacted distribution grids and microgrids. The microPMU is ideal for projects that require monitoring grid stability in real-time and provides a complete view of grid in high resolution with high milli-degree phase angle accuracy. The microPMU streams this real-time data utilizing the IEEE C37.118.2-2011 communications protocol.

The microPMU LV option offers a versatile voltage input that enables interfacing with traditional voltage transformers or sensors with low voltage outputs.

## Features

- High resolution measurement system with milli-degree phase angle accuracy and 0.01% total vector error (TVE) phasor measurements for distribution grid applications
- Simultaneous recording and streaming of real-time synchrophasor data up to 120 frames/sec
- Compliant with IEEE C37.118.2-2011 standards for synchrophasors
- Fully compatible with OpenPDC and PingThings® Predictive Grid cloud platform
- System includes a din rail mount microPMU, power supply module, and a GPS-R time-synchronized module

## Applications

- Real-time situational awareness of critical grid operation
- State estimation with complete system observability and topology change detection
- Enhanced diagnostics, troubleshooting, and event characterization
- Ideal for monitoring stability of microgrids and distributed energy resource (DER) impacted power grids

POWERSIDE®

All our energy, in your power

## Technical Specifications

| VOLTAGE | |
|---|---|
| Connections | L1, L2, L3, N |
| Voltage Measurement Range microPMU | 0 to 750 Vac L-E |
| Voltage Measurement Range microPMU LV | 0 to 28 Vac L-E |
| Voltage Measurement Channels | Line-to-Earth |
| Mains Configuration | 3-phase delta, 3-phase wye/star, single-phase |
| Frequency Range | Nominal 50 Hz, 60 Hz |
| Sampling Rate | 25,600 samples/s at 50 Hz and 30,720 samples/s at 60 Hz |
| Isolation | Up to 5100 Vac isolation to Earth UL/IEC 61010 tested |
| TVE (Total Vector Error) | Typical TVE: ±0.01%<br>Typical short-term TVE stability for differential measurements: ±0.002% |
| Amplitude Resolution | 0.0002% FS (2 PPM) |
| Amplitude Accuracy microPMU (±% rdg ±% FS) | ±0.050% (10 Vac to 750 Vac L-E)<br>Typical: ±0.010% (120 Vac to 600 Vac L-E) |
| Amplitude Accuracy microPMU-LV (±% rdg ±% FS) | ±0.050%<br>Typical: ±0.010% (1.5 Vac to 28 Vac L-E) |
| Angle Resolution | 0.001° (noise floor - useful for short-term difference measurements) |
| Angle Accuracy (±% FS) | ±0.010° (Standard deviation)<br>Typical: ±0.003° |

| CURRENT | |
|---|---|
| Measurement Channels | 8 inputs, differential<br>Low Range: 0.333 Vrms; High Range: 10 Vpk<br>Impedance: 33.3 kΩ<br>Note: 3 phase current channels streamed via IEEE C37.118-2 communication protocol |
| Current Range | 0 to 6000 A with split-core CT's |
| Sampling Rate | 25,600 samples/s at 50 Hz and 30,720 samples/s at 60 Hz |

| MEASURED PARAMETERS | |
|---|---|
| Watts (Power) | Sum of per-phase active fundamental power |
| Volt-Amps (Apparent Power) | Sum of per-phase product of RMS voltage and current, taken over measurement interval |
| Power Factor | Fundamental power factor-ratio of Watts to Volt-Amps |
| Vars (Volt-Amps Reactive) | Fundamental Vars |

POWERSIDE®
All our energy, in your power

| MODES OF OPERATION | |
|---|---|
| High Accuracy Mode | Recordings to Internal Memory<br>Streaming according to C37.118.2-2011 (both simultaneously)<br>Parameters streamed: 3 voltage and 3 current phasor angle and magnitude, frequency, ROCOF<br>Parameters recorded: active / reactive power, power factor<br>Latency: 5 sec typical |
| Low Latency Mode | Using P-Filter* (streaming IEEE C37.118.2 only)<br>Using M-Filter* (streaming IEEE C37.118.2 only)<br>Parameters streamed: 4 voltage and 4 current phasors, frequency, 4 analog channels<br>Latency: 5 sec / 50 msec typical |

*As per IEEE C37.118.2

| TECHNICAL SPECIFICATIONS | |
|---|---|
| Dimensions (L x W x H) | 4.33 X 2.89 X 3.08 in (11.0 X 7.34 X 7.82 cm), 35 mm DIN rail mountable |
| Operating Environment | Temperature: -4 to +149° F (-20 to +65° C), +131° F (+55° C) with PM2 AUX load<br>Humidity: 5 - 95% RH (inside use)<br>Altitude: <2000 m above sea level |
| Power Supply | AC: 24 Vac ±10% at 50/60/400 Hz, 1.5 A max<br>DC: ±24 to 48 Vdc ±10% (polarity independent), 1 A max<br>Optional PM1 and PM2 modules: 100 to 240 Vac 50/60 Hz and 120 to 370 Vdc<br>Power over Ethernet (PoE) compatible |
| Internal Memory | 32 GB, up to 30 days of synchrophasor data |
| Clock Synchronization | GPS-R receiver and antenna provided with the microPMU |
| Communication | Ethernet port RJ-45, 10/100 |
| Communication Protocols | FTP or HTTP (secure FTPS and HTTPS), IEEE C37.118-2.2011 |
| Packaged Accessories | ➢ PM2 power supply module (100 to 240 Vac input)<br>➢ GPS-R time synchronization module<br>➢ Trimble 70228-00 Antenna<br>➢ DIN rail mount |

## Contact Us in Ukraine

**E-mail: powertessa@gmail.com**
**Тел.: +380 98 054 61 87**
**Михайлов Валентин Петрович**

Powerside® and PQube® are registered trademarks of Power Survey Ltd. and Power Standards Lab. © 2022 Powerside. All rights reserved.

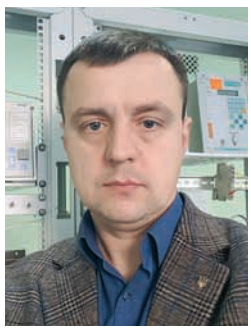
УДК 621.3

Надійшла
Received 16.05.2025

# ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ПРИЛАДІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ МИТТЄВИХ ЦИФРОВИХ ЗНАЧЕНЬ

**В.М. Слинько,**
канд. техн. наук,
ст. наук. співр.

**Ю.М. Довгодько,**
пров. інженер



**О.В. Сподинський,**
пров. інженер

**Інститут електродинаміки НАН України**

## ВСТУП

Використання протоколу ДСТУ IEC61850-9-2 (SV) (англ. *Sampled Values*) нерозривно пов'язане з терміном “шина процесу” (англ. “*Process Bus*”). Шиною процесу ДСТУ IEC61850-1 вважається комунікаційна шина даних, до якої підключені пристрої польового рівня підстанції (комутаційні апарати, вимірювальні трансформатори). У загальному випадку до шини процесу можуть бути підключені не тільки вимірювальні перетворювачі, але також вимикачі, роз'єднувачі та інше обладнання **(рис. 1)**. Однак саме передача миттєвих значень від вимірювальних трансформаторів здійснює найбільше наповнення інформаційної мережі “шини процесу”.

Використання концепції шини процесу передбачає, що всі сигнали, включаючи миттєві значення струмів і напруги, вимірюються і перетворюються в цифровий сигнал безпосередньо в пристрої польового рівня і у вигляді цифрового потоку даних інформаційної мережі, званої шиною процесу, передаються пристроям захисту та автоматики де виконується остаточна обробка і обчислення. Таким чином, загальні похибки і невідповідності складаються з таких, як пристрою польового рівня, так і кінцевого пристрою, і щоб відокремити і досліджувати їх окремо, потрібно використовувати відповідні та протилежні їм еталонні пристрої. Тобто пристрій польового рівня доцільно досліджувати з еталонним кінцевим пристроєм, наприклад DANEO 400, а кінцевий пристрій, наприклад з CMC 850.

## ОСНОВНІ МОЖЛИВОСТІ CMC 850

Модель CMC 850 спеціально розроблена для випробувань на цифрових трансформаторних підстанціях. Аналогові підсилювачі не використовуються, тому пристрій вийшов компактним та легким. Всі значення та дані передаються за допомогою повідомлень GOOSE та SV, а похибки миттєвих значень визначаються лише значенням молодшого розряду формату даних і точністю їх обчислень.

Управління CMC 850 виконується з ПК або з консолі CMControl.

Основні характеристики CMC 850:

- **Вибіркові значення IEC 61850 (публікація)**

Згідно з IEC 61850-9-2LE:

– 4000 Гц (80 SPC при 50 Гц) — 1 вибірка на пакет;
– 4800 Гц (80 SPC при 60 Гц) — 1 вибірка на пакет;

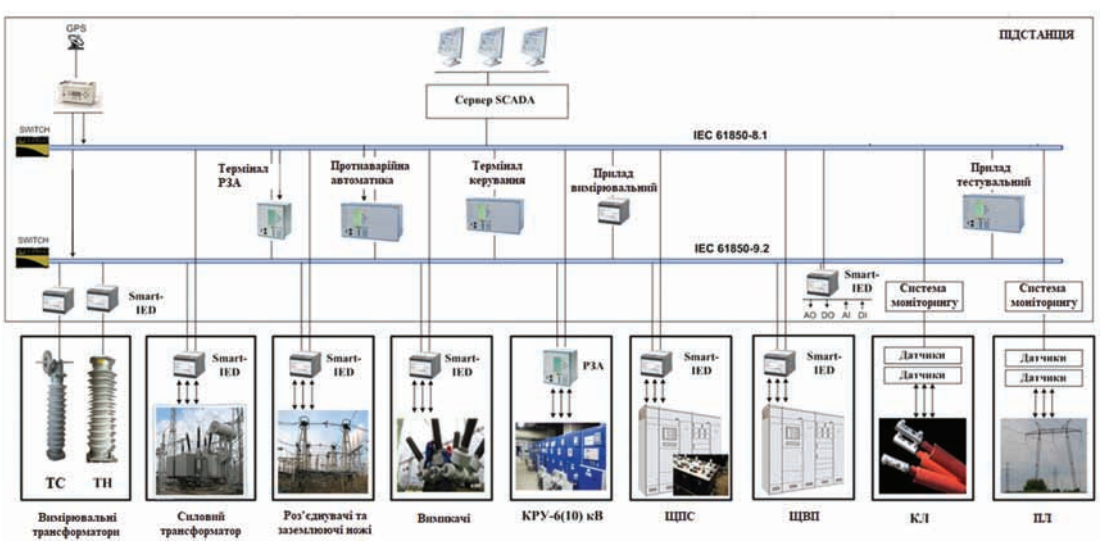



**Рис. 1.** Структурна схема підстанції відповідно до ДСТУ IEC61850

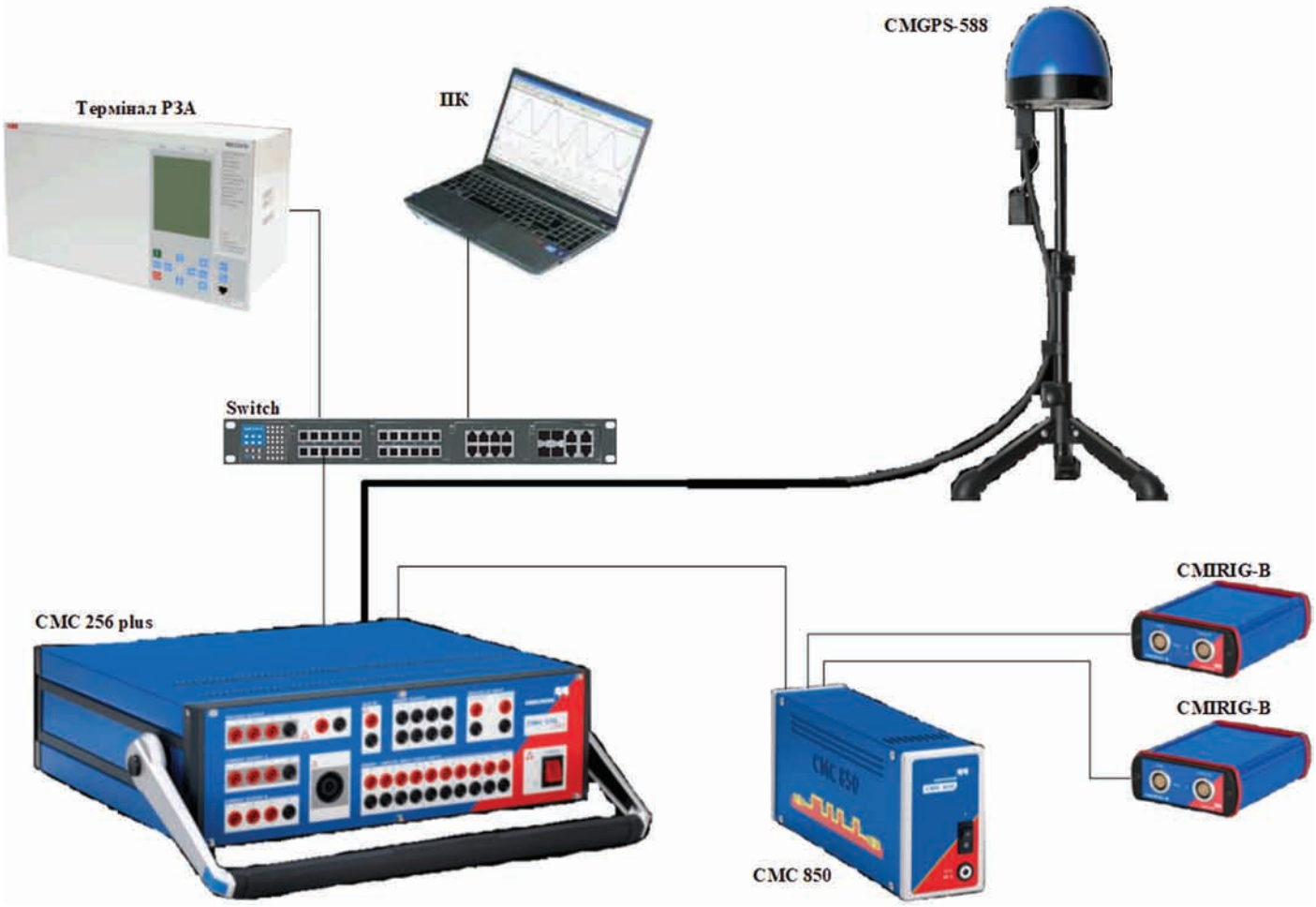



**Рис. 2.** Структурна схема тестової установки

– 12800 Гц (256 SPC при 50 Гц) — 8 вибірок на пакет;
– 15360 Гц (256 SPC при 60 Гц) — 8 вибірок на пакет;
– 4800 Гц — 2 вибірки на пакет;
– 14400 Гц — 6 вибірок на пакет.

Максимальна кількість потоків SV:
– 3 при використанні з програмним забезпеченням Test Universe;
– 4 при використанні з програмним забезпеченням RelaySimTest.

- **GOOSE ДСТУ IEC61850 (симуляція)**

Відображення двійкових виходів на атрибути даних в опублікованих повідомленнях GOOSE:
– кількість віртуальних бінарних виходів: 360;
– кількість GOOSE для публікації: 128.

- **Синхронізація часу:**
  – синхронізація з CMGPS 588, точність синхронізації:
    типова похибка — <1 мкс.;
    гарантована — <5 мкс;
  – протокол мережевого часу (NTP): NTP версії 4;
  – протокол точного часу (PTP): підлеглий вузол згідно IEEE 1588-2008 (V2).
- **Зовнішній блок живлення:**
  – номінальна вхідна напруга:
    110–240 В змінного струму;
    1 фаза 50/60 Гц;
  – вихідна напруга: 48 В постійного струму (±6,25 %).

## ТЕСТОВА УСТАНОВКА

Основною вимогою для виконання тестувань, що передбачаються, є можливість генерувати пакети SV, які синхронізуються з абсолютним еталонним часом.

Генератор пакетів виробництва Omicron GMBH, модель CMC 850 (далі — “генератор пакетів”), який використовується в цьому рішенні, здатний на це, якщо використовувати його разом із зовнішнім модулем синхронізації часу CMGPS 588. Додатково тестова установка включає програмне забезпечення Omicron “CMEngine” встановлене на ПК, або ноутбуку, підключеного через інтерфейс USB, або порт Ethernet **(рис. 2)**.

Враховуючи те, що похибки миттєвих значень визначаються лише значенням молодшого розряду формату даних і точністю їх обчислень (імовірно половини молодшого розряду) ми маємо можливість тестування і оцінки саме алгоритмів кінцевого пристрою, без їх залежності від пристрою польового рівня.

## ІНШІ МОЖЛИВОСТІ

Можливості пристрою Omicron CMC 850 не обмежуються генерацією пакетів вибіркових значень

та GOOSE. Важливою і потрібною можливостю може бути генерація аналогових виходів (–10...+10 В) та двійкових виходів (максимум 15 В) низького рівня. Ці виходи можуть ефективно використовуватись для тестування вхідних модулів відповідного рівня компактним та легким пристроєм.

Також, є можливість, використовуючи інтерфейсний модуль CMIRIG-B, який дозволяє отримувати сигнал секундного імпульсу для загальної або альтернативної синхронізації пристроїв, що використовують цей спосіб, а також контролювати і порівнювати за допомогою осцилографу сигнал секундного імпульсу від інших джерел.

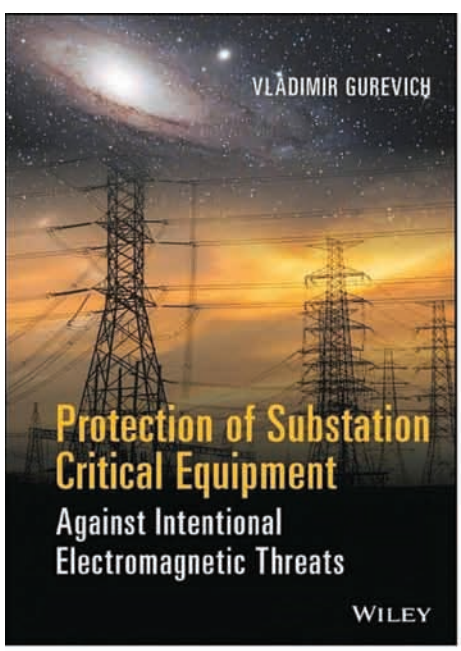
При використовуванні альтернативної опції програмного забезпечення Omicron “CMEngine” з’являється можливість керувати генерацією пакетів із будь-якого стороннього програмного забезпечення, тобто, можна розробити програму, яка поєднує такі функції, як виконання налаштувань PMU із застосуванням стимулів пакетів, і збору кадрів даних з PMU, що тестується.

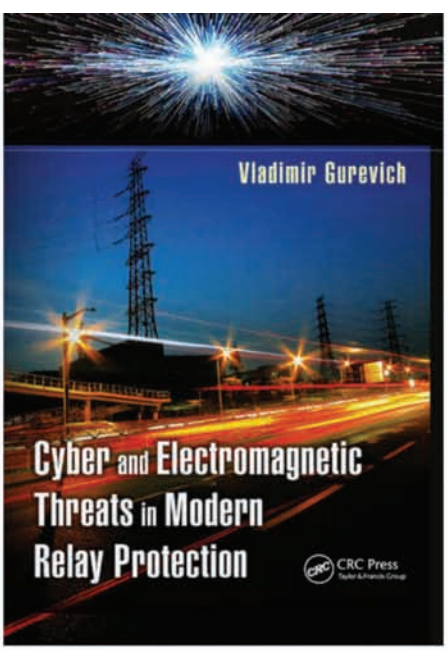
## ВИСНОВКИ

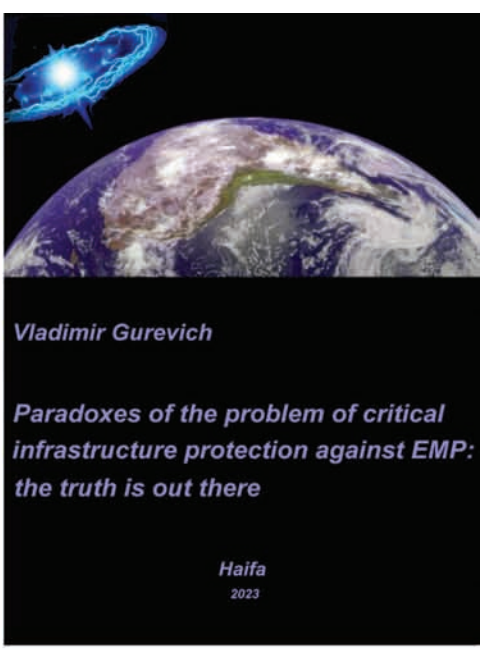
Завдяки виключенню аналогових кіл пристрою польового рівня, може бути досягнута висока точність тестування алгоритмів кінцевого пристрою компактним та легким еталонним генератором пакетів.

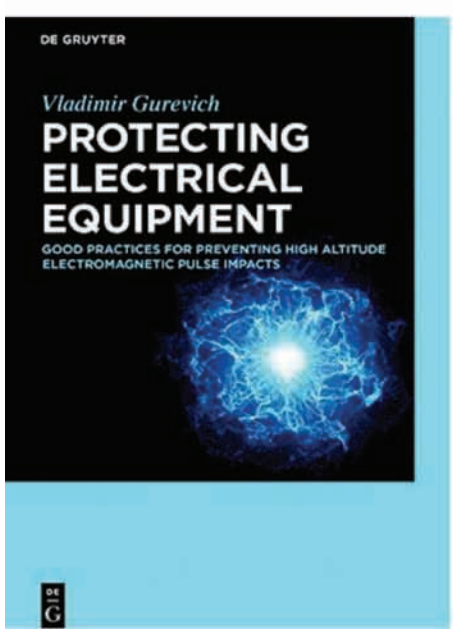
В багатьох випадках гарантована точність синхронізації пристрою Omicron CMC 850 буде достатньою. Але, якщо потрібна краща точність синхронізації ніж гарантована точність 5 мкс (типова 1 мкс), за допомогою таких методів, як контроль за допомогою осцилографа відхилення між джерелами опорного часу, можна досягати точності значно кращої за 1 мкс.

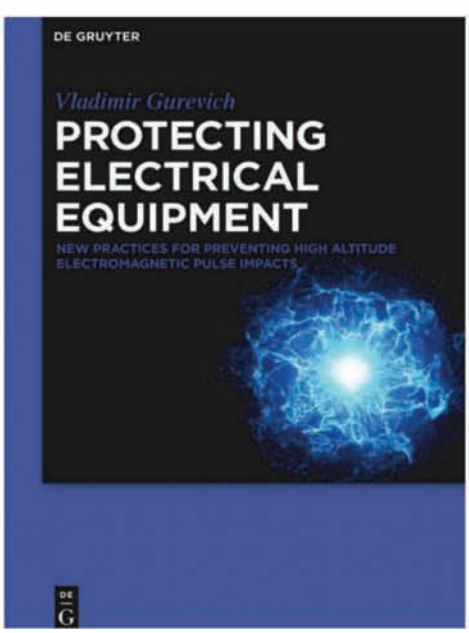
Важливою і потрібною можливостю пристрою Omicron CMC 850 може бути генерація аналогових та двійкових виходів низького рівня, а також пакетів SV (вибіркових значень) за сформованим зовнішньо файлом та керування генератором сигналів із будь-якого стороннього програмного забезпечення, а також багато іншого.

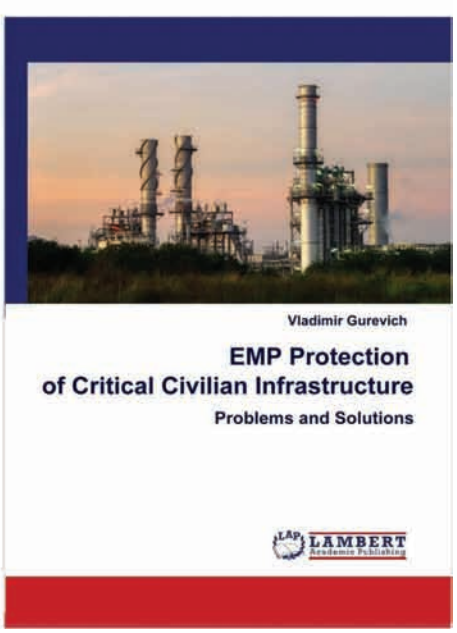


# ПОРТАТИВНИЙ БАГАТОКАНАЛЬНИЙ АНАЛІЗАТОР ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ PQube3 (США)

## ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

- Прилад здійснює моніторинг трифазної, однофазної напруги та розщепленої фази 69~480 L-N, 100~960 В L-L, 50/60/400 Гц. Не вимагає вимірних трансформаторів
- **8 каналів струму** (можливість одним приладом одночасно вимірювати два 3-фазні навантаження. Відпадає необхідність у купівлі 2 приладів)
- Автоконфігурація – автоматичне визначення однофазної і багатофазної напруги, номінальної напруги, номінальної частоти
- Чотири аналогових входи, один цифровий вхід, один релейний вихід
- Додатково підключається модуль ДБЖ з резервним живленням 30 хвилин
- Зберігання даних у внутрішній пам'яті 16 Гб
- Знімна карта пам'яті microSD на 16 ГБ і USB-флешка на 8 Гб з кришкою для обмеженого доступу
- Кольоровий сенсорний дисплей можна використовувати в захисних рукавичках
- Жорсткий кейс для перенесення приладу

## МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ Прилад класу А (Ред. 3)

- Сертифікований на **Клас А IEC 61000-4-30 Ed 3**
- Високошвидкісна реєстрація даних – 512 показів за період
- Запис відхилень параметрів якості електроенергії з зображенням форми хвилі середньоквадратичного значення
- Провали напруги, перенапруги та відключення, події підвищення частоти або зниження частоти, знімки миттєвих значень
  - КВС напруги, КВС струму; несиметрія напруги та струму; ВАР; ВАР-година; Флікер (Pinst, PST, PLT)
- Гармоніки напруги, струму, інтергармоніки – до 63-й, зі статистикою
- Реєстрація і запис високочастотних імпульсів 1 МГц (до 4 МГц на одному каналі)
- Вимірювання кондуктивних перешкод в діапазоні частот від 2 до 150 кГц
- Розміри приладу: 27×24,6×12,4 см
- Вага: 2,8 кг

## ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГІЇ (клас точності 0,2s)

- Під замовлення поставляються високострумові трансформатори струму PSL, що відповідають вимогам стандартів IEC 62053-22 класу 0.2 та ANSI C12.20 класу 0.2
- Вт, ВА, ВАР, Фактичний коефіцієнт потужності, Вт-години, ВА-години, ВАР-години
- Двонаправлена потужність – отримана і поставлена (облік споживання та генерації)
- Пікові середні значення – за один період, 1 хвилина, 15 хвилин та з обраними користувачем інтервалами
- Підтримка коефіцієнтів ТТ від 1:1 до 1: 50000
- Співвідношення коефіцієнта ТН підтримується до 1:10000 (6 900 000) вольт
- Щоденні, щотижневі, щомісячні тренди, криві тривалості навантажень
- Додатково 2 датчика температури і вологості, атмосферного тиску, вібрації, прискорення
- Два порти для датчика сонячного випромінювання (Вт/м$^2$), термопари типу K і т.д.

## НЕ ПОТРІБНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

- Файли графіків і таблиць знімаються з самого пристрою PQube3
  - Прилад працює як самостійно, так і в системі режиму реального часу
  - Може працювати без каналів зв'язку. PQube3 зчитує усі дані з SD карти, як цифровий фотоапарат
- Віддалений доступ до вбудованого веб-серверу
- Доступ до файлів даних через FTP
- Вбудований порт Ethernet
- Як опція Wi-Fi
- 2 порти USB 1.0, 1 порт USB 2.0 для передачі даних на флеш-накопичувач
- Лічильники реального часу з Modbus-TCP і SNMP (v2 і v3) NTP і SNTP для синхронізації
- Безпечний зашифрований зв'язок з HTTPS
- МЭК 61850

## НАКОПИЧЕНІ ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДОЗВОЛЯЮТЬ

- Розробити заходи по оптимізації роботи системи енергопостачання
- Визначити джерело, яке створює перешкоди в електромережі
- Визначити похибки обліку електроенергії, яка залежить від якості електроенергії

В якості опції **PQube3 може працювати як мікросинхрофазометр для попередження появи кібератаки на енергосистему**.

Прилади **“PQube3”** успішно використовуються на об'єктах: **Київенерго, Нафтогаз, Канбуд, Лінде-Газ, Укрпластик, Дніпро-Азот, Національний університет “Львівська Політехніка”** та ін.

**Консультації за адресою:**
**E-mail: powertessa@gmail.com**
**Тел.: +380 98 054 61 87**

POWER ТЭССА

Надійшла
Received 30.05.2025

# ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ СВІТЛОВОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИМІЩЕНЬ З НЕСТАНДАРТНИМИ СВІТИЛЬНИКАМИ

**В.О. Єгорченков,**
д-р техн. наук,
професор,
професор
кафедри
архітектурних
конструкцій

**Київський
національний
університет
будівництва
і архітектури**

При формуванні світлового середовища приміщень важливим питанням є створення привабливого вигляду і прогнозування параметрів при нестандартних умовах. При проєктуванні простору архітектори і дизайнери спробують використовувати якісь неадекватні форми і приміщень і світильники для того, щоб підкреслити індивідуальність і красоту середовища. Завдяки своєму досвіду і інтуїції їм вдається створювати прекрасні інтер'єри як у промислових, так і у цивільних будівлях.

Однак крім професійного використання архітектурних і дизайнерських методів треба знати, які параметри створюються при цих рішеннях для того, щоб не порушувати біологічні і фізіологічні потреби людини, а також не знижувати енергоефективність будівлі. До речі, це входить і до конкурентоспроможності тих чи інших рішень.

При визначенні параметрів світлового середовища для нестандартних умов типові методи розрахунку, як правило, не підходять. І приходиться щось змінювати або спрощувати. Це може вплинути на якість дизайнерського рішення або зменшити точність розрахунків.

Наразі існують багато комп'ютерних програм для розрахунку штучного освітлення: **DiaLux** (DIAL GmbH, Німеччина) [1], **Radiance** (Greg Ward, LBNL, США) [2] та ін., але ці програми поки що не узгоджені з українськими нормами. До того ж є прості методи розрахунку рівномірно загального штучного освітлення, що утворюється на горизонтальній робочій площині при рівномірному розміщені на стелі (чи підвішеними до стелі однотипними світильниками.

Інша ситуація, коли світильники незвичної форми, яку запропонували дизайнери, і вони знаходяться в приміщенні складної геометрії. Така практика часто трапляється, коли нестандартні світильники являються декоративними елементами інтер'єру. В таких випадках використовувати ці програми не раціонально, тому що в них застосовано не ефективний математичний апарат. Час розрахунків збільшується і може статися зациклювання програми. Це небезпечно.

Ціллю даної роботи є розробка принципів формування світлового середовища приміщень складної геометрії при наявності нестандартних світильників з використанням найбільш ефективного математичного апарату точкового числення [3].

Особливістю точкового числення є аналітичний опис геометричних об'єктів у вигляді простих точкових рівнянь та обчислювальних алгоритмів.

Переваг точкового числення багато. У рамках цієї статті зазначимо лише дві. Основою точкового числення є проєкціювання точок не на проєкційні площині, як у звичайній геометрії, а безпосередньо на проєкційні осі. Проєкції точок на координатні площини є зайвими даними і немає необхідності "тягнути" їх за собою через усі масиви площинних проєкцій. Ефективність цієї операції є особливо високою при криволінійних геометричних об'єктах, оскільки відпадає необхідність апроксимувати їх через грановані форми.

При традиційному моделюванні розподілу світлових потоків між об'єктами і визначенні параметрів поля весь простір, що моделюється, розбивають на елементарні майданчики і складають систему рівнянь з їх кількістю, що дорівнює кількості майданчиків. Ця система рівнянь вирішується чисельними методами. Якщо об'єкти складаються з площинних елементів, вирішення завдання виходить простим і точним. За наявності у сцені елементів з криволінійними поверхнями точність рішення знижується та збільшується час розрахунку.

При використанні точкового числення складається одне або кілька рівнянь, що моделюють простір, і послідовно розраховуються всі необхідні складові. Кількість рівнянь залежить не від кількості елементарних елементів, а від кількості типів геометричних об'єктів. Наприклад, у моделюванні беруть участь один циліндричний об'єкт, один півсферичний і два плоскі трикутні. У цьому випадку складаються лише три рівняння: для циліндричного, сферичного та трикутного об'єктів. Точкове числення ефективно працює як для плоских, так і для криволінійних поверхонь, оскільки точка є невід'ємним елементом геометричного об'єкта.

Вирішення завдання розглянемо на прикладі світильника у вигляді плоского трикутника з криволінійними сторонами, розташованого як завгодно.

Від світильника такої форми дуже важко порахувати освітленість, особливо у приміщеннях складної геометрії з урахуванням багаторазового світловідбиття від внутрішніх поверхонь огороджень.

Перш за все треба знайти точкове рівняння геометричного об'єкта. Його нескладно вивести або використати вже існуюче. До речі, ще одна перевага точкових рівнянь — вони прості і зручні при програмуванні. Для даного прикладу скористаємось вже готовим рівнянням [4].

Розробляється геометрична схема об'єкта (**рис. 1**).

Точкове рівняння криволінійного трикутника має такий вигляд:

$$M_{ij} = A_1(1-t)(1-2t)[(1-\tau)(1+2\tau)+ +\tau(2\tau-1)]+ {}_2t(2t-1)(1-\tau)(1-2\tau)+ + {}_3t\tau(2t-1)(2\tau-1)+4C_1t(1-t)(1-\tau)\times \times(1-2\tau)+4C_2t\tau(2t-1)(1-\tau)+ +4C_3t\tau(1-t)(2\tau-1)+16Rt\tau(1-\tau)(1-\tau). \quad (1)$$

Переводимо цей загальний вигляд рівняння до координатної форми (2), який у точковому численні робиться дуже просто. Достатньо замість базових

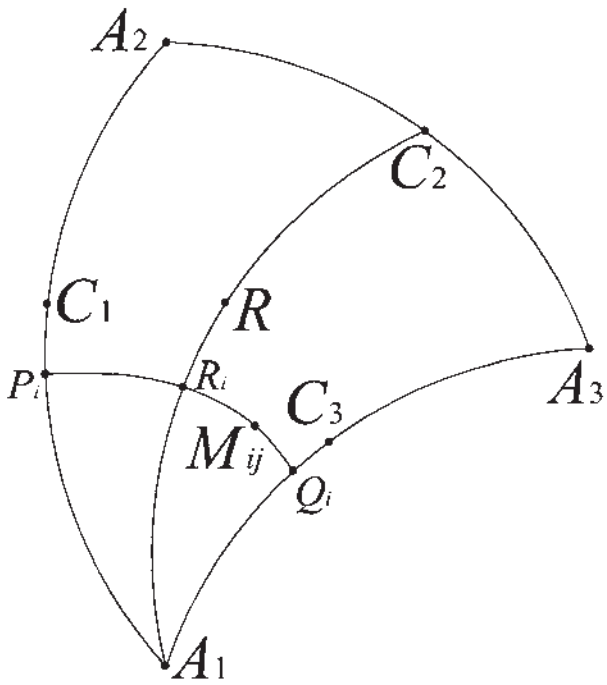



**Рис. 1.** Геометрична схема криволінійного трикутника: $A_1$, $A_2$, $A_3$ — вершини трикутника; $C_1$, $C_2$, $C_3$ — вершини парабол (хоча тут може бути і інший тип кривих); $R$ — центральна точка об'єкта (вона регулює щільністю розташування точок сканування). Це базові параметри, які, як правило, відомі і задаються дизайнером

параметрів поставити їх координати (ще одна перевага точкового числення). У формулі (2) показано перетворення тільки по координаті $x$, по координатах $y$ і $z$ має бути такий самий вигляд.

$$x_{ij} = x_{A1}(1-t)(1-2t)[(1-\tau)(1+2\tau)+ +\tau(2\tau-1)]+x_{\ 2}t(2t-1)(1-\tau)(1-2\tau)+ +x_{\ 3}t\tau(2t-1)(2\tau-1)+4x_{C_1}t(1-t)(1-\tau)\times \times(1-2\tau)+4x_{C_2}t\tau(2t-1)(1-\tau)+ +4x_{C_3}t\tau(1-t)(2\tau-1)+16x_Rt\tau(1-\tau)(1-\tau). \quad (2)$$

Візуалізація отриманого точкового рівняння (2) здійснено у середовищі Maple (**рис. 2**). Таким чином отримані координати будь-якої точки сканування криволінійного трикутника.

Формуються елементи. Для цього чотири (або три у точці $A_1$) сусідні точки об'єднуються і визначаються координати центрів елементів. Вважається, що сила світла і яскравість в межах елемента незмінна.

Центр чотирикутного елемента визначається як середина однієї із його діагоналей (**рис. 3**):

$$G^4_{\varepsilon\nu} = \frac{M_{ij}+M_{(i+1)(j+1)}}{2}. \quad (3)$$

Для трикутного елемента центр визначається як центр ваги трикутника.

При розробці нового світильника, як правило, визначаються основні параметри світловий потік, розподіл сили світла і яскравості по його поверхні. Тобто ці параметри спочатку відомі.

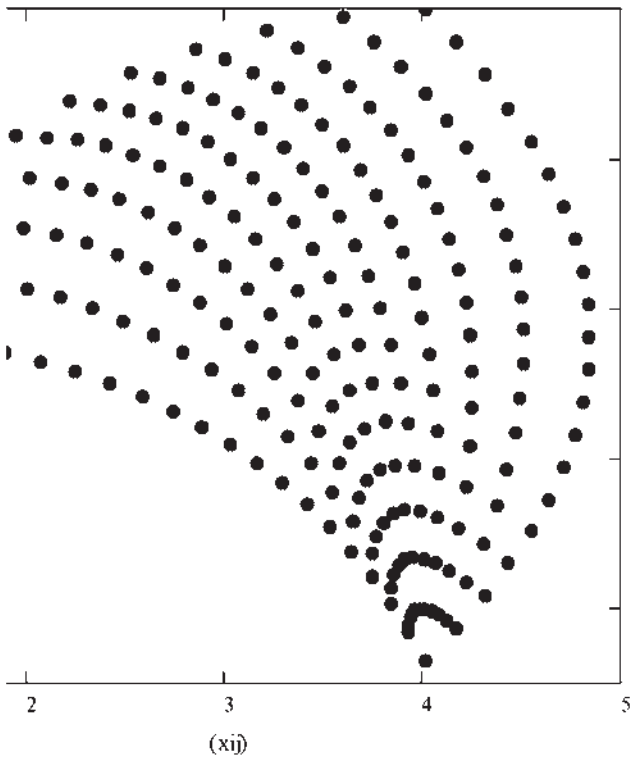



**Рис. 2.** Візуалізація точок сканування трикутного світильника з криволінійними сторонами

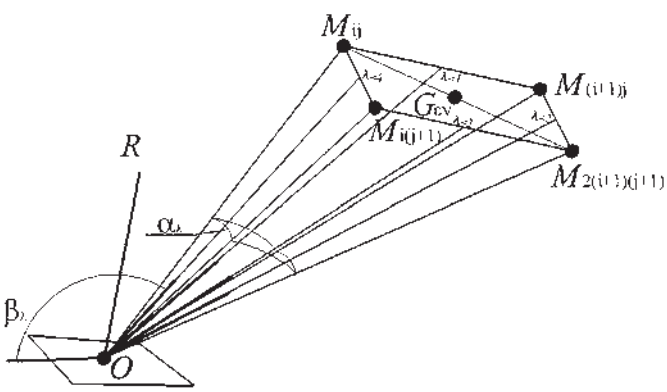



**Рис. 3.** Геометрична схема визначення проєкції тілесного кута на нормаль до розрахункової площини

Світловий потік від світильника у деякій точці *O* приміщення формується в межах тілесного кута світильника, обмеженого поверхнями, що проходять через криволінійні грані світильника і точку *O*. Якщо використати отримані за формулами (2) точки сканування, то весь тілесний кут світильника можна подати, як суму елементарних тілесних кутів з вершиною в точці *O*, які являють собою елементарні піраміди з гранями, що проходять через чотири (або три) точки сканування, координати яких вже відомі.

Освітленість $E_O$ в деякій точці даної площини *O* від елемента світильника буде визначатися за формулою:

$$E_O = L_{\varepsilon\nu} \cdot \sigma_{\varepsilon\nu}, \qquad (4)$$

де:

$L_{\varepsilon\nu}$ — яскравість даного елемента поверхні світильника (відома величина), кд/м$^2$;

$\sigma_{\varepsilon\nu}$ — проєкція вектору тілесного кута елемента на нормаль до площини з точкою O, ср.

Ця величина визначається за відомою формулою [5]:

$$\sigma_{\varepsilon\nu}^{ij} = \frac{1}{2}\sum_{\lambda=1}^{p}\alpha_\lambda \cdot \cos\beta_\lambda, \qquad (5)$$

де:

$\alpha_\lambda$ — кут, під яким видно $\lambda$-у сторону основи елементарної піраміди, рад;

$\beta_\lambda$ — кут між зовнішньою поверхнею $\lambda$-ої грані піраміди та розрахунковою площиною, в якій знаходиться точка *O*, рад;

*p* — кількість сторін елементарної піраміди.

Ці кути елементарно визначаються за допомогою точкового числення. Для прикладу тут представлено визначення кута $\alpha$ однієї грані:

$$\alpha_{ij}^{(i+1)j} = \arccos\left\{\left(\Delta x_{ij}\Delta x_{(i+1)j} + \Delta y_{ij}\Delta y_{(i+1)j} + \right.\right.$$
$$+\Delta z_{ij}\Delta z_{(i+1)j}\Big):\Big[\Big((\Delta x_{ij})^2 + (\Delta y_{ij})^2 + (\Delta z_{ij})^2\Big)\times$$
$$\left.\left.\times\Big((\Delta x_{(i+1)j})^2 + (\Delta y_{(i+1)j})^2 + (\Delta z_{(i+1)j})^2\Big)\Big]^{1/2}\right\}, \qquad (6)$$

де:

$$\Delta x_{ij} = x_{ij} - x_O;\ \Delta y_{ij} = y_{ij} - y_O;\ \Delta z_{ij} = z_{ij} - z_O;$$
$$\bullet\bullet\bullet.$$

Для визначення косинуса кута між нормаллю до розрахункової площини і зовнішньою поверхнею площини грані елементарної піраміди $M_{ij}M_{(i+1)j}O$ визначається нормаль до останньої, що характеризується як точка виходу з площини:

$$S_{ij}^{(i+1)j}\left(x_{ij}^{(i+1)j},\ y_{ij}^{(i+1)j},\ z_{ij}^{(i+1)j}\right).$$

Координатна форма цієї нормалі визначається за наступними виразами:

$$x_{ij}^{(i+1)j} = y_{ij}z_{(i+1)j} - y_{(i+1)j}z_{ij} +$$
$$+y_O\left(z_{ij} - z_{(i+1)j}\right) + z_O\left(y_{(i+1)j} - y_{ij}\right);$$
$$y_{ij}^{(i+1)j} = z_{ij}x_{(i+1)j} - z_{(i+1)j}x_{ij} +$$
$$+x_O\left(z_{(i+1)j} - z_{ij}\right) + z_O\left(x_{ij} - x_{(i+1)j}\right);$$
$$z_{ij}^{(i+1)j} = x_{ij}y_{(i+1)j} - x_{(i+1)j}y_{ij} +$$
$$+x_O\left(y_{ij} - y_{(i+1)j}\right) + y_O\left(x_{(i+1)j} - x_{ij}\right). \qquad (7)$$

У результаті косинус зовнішнього кута між площиною та нормаллю визначиться у такий спосіб:

$$\cos\beta_{ij}^{(i+1)j} = \frac{x_R x_{ij}^{(i+1)j} + y_R y_{ij}^{(i+1)j} + z_R z_{ij}^{(i+1)j}}{\sqrt{\left(x_{ij}^{(i+1)j}\right)^2 + \left(y_{ij}^{(i+1)j}\right)^2 + \left(z_{ij}^{(i+1)j}\right)^2}}, \qquad (8)$$

де:

$x_R$, $y_R$, $z_R$ — координати точки, що визначають одиничну нормаль *OR* до розрахункової площини (вони задаються так, щоб відрізок *OR* був перпендикулярним до цієї площини, а його модуль становив $|OR|=1$).

Таким чином величина проєкції вектору тілесного кута у розгорнутому вигляді буде такою:

$$\sigma_{\varepsilon\nu}^{G}=\frac{1}{2}\left(\alpha_{ij}^{(i+1)j}\cos\beta_{ij}^{(i+1)j}+\alpha_{(i+1)j}^{(i+1)(j+1)}\cos\beta_{(i+1)j}^{(i+1)(j+1)}+\right.$$
$$\left.+\alpha_{(i+1)(j+1)}^{i(j+1)}\cos\beta_{(i+1)(j+1)}^{i(j+1)}+\alpha_{i(j+1)}^{ij}\cos\beta_{i(j+1)}^{ij}\right). \quad (9)$$

Сумарна величина освітленості від усього світильника у т. О буде складати

$$E_{O\Sigma}=\sum_{\varepsilon=1}^{\kappa}\sum_{\nu=1}^{\iota}L_{\varepsilon\nu}\sigma_{\varepsilon\nu}^{G}. \quad (10)$$

Визначення величини освітленості від світильників незвичайної форми в заданих точках приміщення здійснено з використанням математичного апарату точкового числення, що підвищує точність розрахунків, максимальне використання освітлювальної енергії та рівень енергоефективності будівель.

**У результаті проведених досліджень визначено такі принципи.**

**1.** Визначається розрахункова схема (модель) світильника.

**2.** Для цієї моделі складається (підбирається) точкове рівняння.

**3.** Складається обчислювальний алгоритм розв'язання геометричної задачі та формується поле точок сканування.

**4.** Розробляється програма розрахунку з урахуванням фізичних виразів (формули 4–10).

Таким чином розроблено принципи визначення величини освітленості від нестандартних світильників з використанням точкового числення. Вони найефективніші при врахуванні багаторазових відбиттів від внутрішніх поверхонь приміщення складної геометрії. Але цей процес буде описано у наступних статтях.

## ЛІТЕРАТУРА


1. https://www.asutpp.ru/11-luchshih-programm-dlya-rascheta-i-proektirovaniya-osvescheniya.html
2. Radiance (Greg Ward, LBNL, США) [https://radsite.lbl.gov/radiance/].
3. *Балюба И.Г.* Точечное исчисление: Учебное пособие / И.Г. Балюба, В.М. Найдыш. Мелитополь: Изд-во МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2015. 234 с.
4. *Yegorchenkov V.* Solar Gain in the Buildings of Unconventional Shape/ V. Yegorchenkov, V. Buravchenko, V. Plosky. 2023 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), pp. 502–507.
5. *Wiener Ch.* Lehrbuch der darstellenden Geometrie, T. 1, Leipzig, 1884. 477 S.

**А.М. Манилов,**
инженер

Надійшла
Received 06.12.2024

# О СПОСОБЕ ИСКЛЮЧЕНИЯ НЕПРЯМОГО ПРИКОСНОВЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ИЛИ ЖИВОТНЫХ К ПОВРЕЖДЁННОЙ ТОКОВЕДУЩЕЙ ЧАСТИ ИЗОЛЯЦИИ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 35 кВ

Во время случайного прикосновения человека или животных к токоведущему элементу, находящемуся под напряжением, превышающее предельное значение, большая плотность тока в точке касания вызывает сверхсильные раздражения рецепторов кожной чувствительности. Мгновенное неожиданное появление боли нарушает регулирующие функции защитных систем организма, наступает молниеносная гипоксия (недостаточное снабжение мозга кровью), которая приводит к потери сознания (параличу высших функций органов головного мозга), рефлекторному расстройству кровообращения и глубокому нарушению регуляторной деятельности центральной нервной системы. Центры управления сердечно-сосудистой системы и дыхания получают адекватные сигналы и рефлекторно вызывают или фибрилляцию сердца, или дыхания, либо то и другое, что приводит к клинической смерти. В ряде случаев раздражение клеток, обладающих определенным пределом работоспособности, настолько велико, что они погибают. Мозговые функции необратимо прекращаются — наступает моментальная смерть, хотя кровообращение и самостоятельное дыхание еще некоторое время могут сохраняться. Тяжесть электротравмы при рефлекторном механизме поражения зависит от комплекса взаимосвязанных между собой факторов: интенсивности и продолжительности воздействия тока, места прикосновения человека к токоведущему элементу, индивидуальной восприимчивости (реактивности) его к боли, физического и особенно психического состояния в момент травмы. В зависимости от этих факторов значение смертельно опасного тока (напряжения) может находится в широком диапазоне — от нескольких до сотен миллиампер. Действие рефлекторного механизма поражения может происходить при любом пути протекания тока, даже через палец. Наиболее частой причиной смертельного исхода при рефлекторном действии тока является поражение дыхательного центра, реже фибрилляция. Весьма опасно протекание тока через голову человека. При непосредственном воздействии на нервные клетки даже слабый ток (около 1 мА) вызывает неприятные безболезненные мерцания, которые остаются на некоторое время и после его отключения. Как показывает анализ случаев летального исхода, при протекании через голову тока от сети 12 В смерть пострадавших наступала через несколько минут после сильного пере-

возбуждения. Приблизительное значение тока при этом — 5–7 мА, время действия — 1 секунда. При прикосновении и захвате токоведущего элемента, находящегося под напряжением более 1 кВ, тяжесть последствия чаще всего наступает от ожога дугой, при этом наблюдается также повреждение различных органов и тканей, сопровождающееся инфицированием и сепсисом. Возрастание степени поражения в зависимости от напряжения происходит практически линейно.

В электроустановках напряжением 35 кВ ожоги могут появляться и без непосредственного контакта с токоведущим элементом, а лишь при случайном приближении на опасное расстояние. Когда это расстояние меньше или равно разрядному, возникает искровой разряд, в последствии переходящий в электрическую дугу. В месте ожога при рассматриваемой травме мгновенно погибнут чувствительные рецепторы кожного покрова. Сопротивление тела человека резко уменьшается.

Указанные травмирующие ситуации при непрямом прикосновении человека или животных не зависят от достаточности или недостаточности изучения механизма поражения человека или животных током. Поэтому необходимо упредить непрямое прикосновение человека к токоведущим элементам. Для исключения непрямого прикосновения человека к токоведущему элементу необходимо предусмотреть электропроводящую оболочку внутри кабеля. Тогда при повреждении изоляции ток будет протекать через эту оболочку, вызывая отключение поврежденной линии. В этих условиях человек или животные не касаются поврежденной изоляции.

## РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

В книге главного специалиста-электрика института ДнепрВНИПИэнергопром кандидата технических наук **И.Я. Ходака** приведены практические методы расчета электрических и магнитных полей, создаваемых воздушными и кабельными линиями электропередач и сухими токоограничивающими реакторами в местах возможного кратковременного или длительного пребывания людей, животных и микропроцессорной аппаратуры. Алгоритмы расчетов позволяют использовать общедоступные офисные программные средства и, при необходимости, выполнить расчеты для контрольных точек вручную.

Книга рассчитана на работников проектных организаций, эксплуатационный персонал служб предприятий электрических сетей, систем электроснабжения предприятий и городов, экологов, работников санстанций и других контролирующих органов.

## ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СБОРУ И ВЫДАЧЕ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Книга содержит введение, 12 глав , приложение и заключение. Всего 119 страниц. Формат книги карманный. В ней приведен краткий обзор солнечных и ветровых электростанций: их функциональные и структурные схемы, характеристики основных элементов станции. Приведены схемы присоединения СЭС и ВЭС к энергосистеме, схемы подстанций связи СЭС и ВЭС с энергосистемой, внутристанционные схемы сбора мощности от инверторных подстанций и ветроустановок до подстанций сбора мощности.

Рассмотрены вопросы расчета токов короткого замыкания в близких и удаленных точках короткого замыкания, режимы заземления нейтрали в сети с резисторным заземлением нейтрали, балансы реактивных мощностей. Предложена методика расчета коэффициента несинусоидальности напряжения, вызванной генерацией инверторами и преобразователями частоты токов высших гармоник, в т.ч. с учетом источников гармоник в системе.

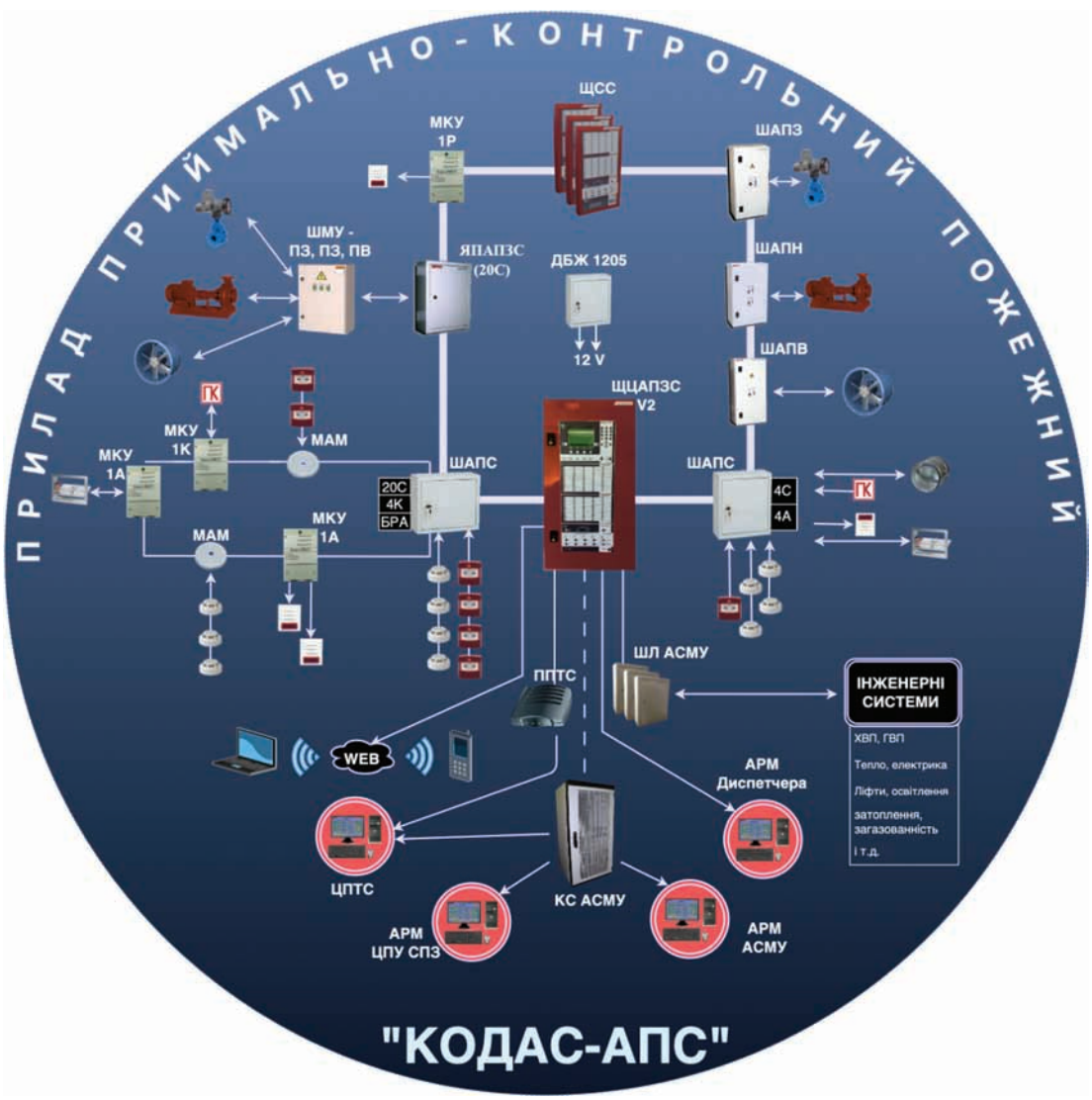
# СУЧАСНІ СИСТЕМИ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ, АДМІНІСТРАТИВНИХ ТА ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ: РІШЕННЯ НА БАЗІ ПРИЛАДУ ПРИЙМАЛЬНО-КОНТРОЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО ППКП “КОДАС-АПС” ВИКОНАННЯ 2 (V2)

ТОВ Фірма "Елекон ЛТД"

**“Альтернатива є — диспетчеризація та автоматизація на основі приладу приймально-контрольного пожежного ППКП “КОДАС-АПС” у складі пожежної централі”**

## ЗМІНА ПАРАДИГМИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

У сучасному світі системи протипожежного захисту (далі — СПЗ) стають не лише обов’язковим розділом проєктної документації, а й одним із основних чинників збереження життя, безперервної роботи інфраструктури та стійкості об’єкта до надзвичайних ситуацій. Усе частіше архітектори, проєктанти, забудовники й інженери стикаються з необхідністю проєктування комплексних систем, які не просто подають сигнал “Пожежа”, включають оповіщення та пожежогасіння, а й інтегруються з усіма інженерними системами будівлі, забезпечуючи швидке реагування та автономну дію в критичних умовах.



Зростання поверховості та щільності забудови розподіленості об'єктів, ускладнення інженерних рішень, вимоги до енергоефективності та сталого розвитку — все це потребує надійних, масштабованих, інтелектуальних систем. І саме такими є рішення на базі ППКП "Кодас-АПС" v2, розроблені з урахуванням новітніх технічних і нормативних вимог.

## ТЕХНОЛОГІЧНА ОСНОВА: ЧОМУ ППКП "КОДАС-АПС" V2

ППКП "Кодас-АПС" v2 в рамках єдиної системи дозволяє реалізувати функції:

- системи пожежної сигналізації (СПС);
- системи протидимного захисту (СПДЗ);
- системи пожежогасіння (АСПГ);
- системи оповіщення та управління евакуюванням людей (СО);
- системи диспетчеризації СПЗ (ДСПЗ);
- системи централізованого пожежного спостерігання (СЦПС).

А також функції управління і моніторингу систем, які не входять до складу СПЗ, але пов'язані із забезпеченням безпеки людей на об'єктах впровадження при виникненні пожежі та інших надзвичайних ситуацій.

На відміну від інших рішень для реалізації систем СПЗ, ППКП "Кодас-АПС" v2 побудована за розподіленою архітектурою, що дозволяє фізично розміщувати її компоненти в різних шафах автоматики, ближче до зон обслуговування, мінімізуючи витрати кабелю, зменшуючи час реакції та підвищуючи стійкість до пошкоджень.

Його головні переваги:

- повна відповідність вимогам стандартів та нормативам: ДСТУ EN 54-2, EN 54-4, EN 54-13, EN 54-18, ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015,IDT);
- виробництво сертифіковане відповідно до вимог ДСТУ
- розподілена структура з можливістю локалізації обладнання по зонах (поверхах, цехах, приміщеннях, тощо);
- сумісність з адресними та безадресними компонентами;
- гнучка інтеграція з іншими інженерними системами через RS-485;
- висока живучість системи, стійкість до зовнішніх впливів (пил, волога, аварії живлення);
- централізоване управління всіма компонентами СПЗ в режимі реального часу.

Ключові компоненти (блоки), що розміщуються у шафах автоматики:

- Кодас-ПКУ — інтелектуальний пульт із ЖК-дисплеєм, логікою керування та підтримкою протоколу modBus-RTU;
- Кодас-4А, Кодас-4С та Кодас-20С — блоки, які дозволяють масштабувати систему, забезпечуючи необхідну кількість адресних шлейфів;
- блоки індикації стану (Кодас-БСС) — забезпечують наочне відображення інформації для персоналу;
- блоки живлення (БЖ 1205) — підтримує працездатність навіть у разі знеструмлення будівлі.

Завдяки такій модульності зменшуються ризики відмови всієї системи у разі пошкодження одного елемента — система залишається працездатною та безпечною. Більш того, завдяки комбінованій кільцевій та променевій структурі з'єднань, використанню стандартизованих протоколів зв'язку, система зберігає працездатність навіть у разі обриву або пошкодження окремих ланцюгів.

## ІНТЕГРАЦІЯ, ЯКА РОБИТЬ СИСТЕМУ РОЗУМНОЮ

Унікальною перевагою "Кодас-АПС" є можливість повноцінної інтеграції з іншими інженерними системами об'єктів. За допомогою АСМУ (автоматизованої системи моніторингу та управління) реалізується:

- моніторинг та керування обладнанням інженерних систем, в т.ч. вентиляцією, димовидаленням, ліфтами, електроживленням і т.д.;
- швидке реагування на зміну стану в зоні або об'єкті в реальному часі;
- візуалізація всієї інфраструктури обладнання та систем через WEB-інтерфейси та АРМ диспетчера.

Це дає змогу створювати єдине інформаційне середовище, яке дозволяє швидко локалізувати аварію, мінімізувати наслідки, гарантувати безпеку людей і зменшити втрати майна.

## СТІЙКІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ — КРИТИЧНІ ПАРАМЕТРИ СИСТЕМИ

Одним з ключових викликів при проєктуванні систем СПЗ є приділення уваги до впливу зовнішніх факторів на системи — перепади напруги, механічні пошкодження, умови експлуатації, зловмисні дії.

Саме тому ППКП "Кодас-АПС":

- має ступінь захисту IP54 (для основних блоків) та захист від несанкціонованого доступу у шафи автоматики;
- підтримує автоматичне резервування живлення з АКБ;
- обладнаний механізмами самодіагностики, індикації помилок, має журнал подій;
- витримує довготривалі режими аварійної експлуатації.

Це забезпечує виконання свого основного завдання — збереження життя людей, в тому числі підтримку функцій безпеки навіть при частковому виході з ладу, що робить систему стійкою до зовнішніх впливів та стабільною в екстремальних умовах.

## ПРАКТИКА ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПІДТРИМКА

Рішення на базі "Кодас-АПС" уже реалізовано більш ніж на 100 об'єктів по Україні — від навчальних закладів до об'єктів критичної інфраструктури. ТОВ Фірма "Елекон ЛТД" надає повний цикл супроводу:

- розробка та адаптація проєктних рішень;
- постачання, навчання персоналу, консалтинг;
- допомога у введенні в експлуатацію;
- технічна підтримка та модернізація.

## ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ МАЙБУТНЬОГО

Сучасні СПЗ — це не набір автономних пристроїв та розрізнених технічних засобів, а цілісна інтелектуальна екосистема, яка здатна діяти як єдиний механізм у найвідповідальніший момент. У її основі мають бути не лише надійність і відповідність стандартам, а й гнучкість, інтегрованість та масштабованість.

ППКП “Кодас-АПС” v2 відіграє роль центральної керуючої ланки такої екосистеми. Його застосування відкриває можливість формувати комплексні рішення, які легко масштабуються, адаптуються до особливостей об’єкта впровадження, зберігають стійкість до зовнішніх впливів та забезпечують надійне функціонування у надзвичайних ситуаціях. У проєктах багатоповерхових, адміністративних і громадських будівель такий підхід дозволяє перейти від розрізнених технічних модулів до єдиної архітектури захисту — узгодженої, інтелектуальної та ефективної. Саме це створює фундамент для безпеки, збереження життя і майна, а також стабільної експлуатації об’єкта за будь-яких умов.

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК СПОЖИВАЧІВ

### Я. С. Бедерак, В. І. Тарадай

У **видавництві “Форт” м. Харків** в грудні 2020 року побачив світ навчальний посібник “Забезпечення надійної роботи електроустановок споживачів”. У посібнику розглянуто різноманітні причини несправностей електрообладнання та його виходу з ладу.

Приведені докладні настанови з огляду електроустановок споживачів, детальні переліки дефектів, що їх зазвичай виявляють на етапі огляду. Узагальнено заходи, спрямовані на підтримку справного стану обладнання. Книга призначена для інженерно-технічних працівників у сфері забезпечення електропостачання підприємств, а також електромонтерів, які займаються експлуатацією електроустаткування напругою до і понад 1000 В у різних галузях народного господарства.

Звертайтеся до інтернет-магазину видавництва:

**https://www.fort.kharkiv.com/**

# IV МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

# E-Comps + DigiTec

## 14–16 жовтня 2025


МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
м. Київ, Броварський пр-т, 15

+38 (095) 268-05-84
lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua

УДК 621.314

Надійшла Received 12.05.2025

# КОЛИВАННЯ НАПРУГИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

**В.Є. Шестеренко,**
д-р PhD, професор

**Ю.А. Чорний,**
д-р PhD, доцент

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого Національного університету харчових технологій

*Вплив неякісної напруги на електромагнітні та технологічні втрати проявляється у зростанні втрат потужності та енергії, зменшенні терміну служби обладнання, технологічних збитках, що включають в себе зменшення продукції, зниження якості продукції, випуск неякісної продукції. Таким чином, коливання напруги є однією з найважливіших проблем в системах електропостачання промислових підприємств. Її вирішення є пріоритетним завданням при проєктуванні систем електрозабезпечення. Розглянуто шляхи підвищення ефективності систем електрозабезпечення за рахунок зниження технологічних втрат, викликаних неякісною напругою. Запропоновано спосіб підвищення якості напруги. Регулювання напруги забезпечує компенсацію втрат напруги у системі електропостачання з метою підтримування заданої якості напруги на затискачах електроприймачів. В енергосистемі можливості регулювання обмежені вимогами стійкості паралельної роботи генераторів. Коливання напруги призводять до суттєвих збитків у споживачів. Енергопостачаюча компанія може компенсувати ці збитки, але для цього необхідно визначити характеристики коливань у відповідності з діючим стандартом. Електронні пристрої необхідно захищати від різких коливань та імпульсів перенапруги, оскільки в діючих мережах відсутні ефективні пристрої захисту. Причинами такого погіршення, наряду із впровадженням джерел розосередженої генерації (генерація в електричну мережу гармонік, інтер- та субгармонік), є також наявність у споживачів потужних нелінійних, несиметричних навантажень із різкозмінним режимом роботи. До таких навантажень відносяться дугові електросталеплавильні печі, потужні прокатні стани, електрозварні пристрої, тощо [1–3, 6–8]. Дані навантаження негативно впливають на якість електричної енергії систем електропостачання, до яких вони підключені. Це обумовлено тим, що характер споживання ними активних і реактивних потужностей відповідає їх різкозмінним, повторно-короткочасним режимам роботи, що призводить до коливань напруги. Коливання напруги, у свою чергу, призводять до модуляції у часі амплітуд і фаз складових струму як основної, так і вищих гармонік, які генеруються у електричну мережу. Мета досліджень — створити пристрої, що здатні зменшити до мінімуму небезпечні наслідки коливань напруги.*

***Ключові слова:*** *напруга, система керування, коливання напруги, флікер, система електрозабезпечення, регулятор напруги, установка поздовжньої компенсації.*

Для будь-якої силової мережі напругою 660–380 В коливання напруги мають бути не нижчими 85% від У противному разі може трапитися вимкнення магнітних пускачів, контакторів, реле.

Коливання напруги призводять до зміни моменту на валу двигуна і скорочують їх термін служби. Порушується технологічний процес на виробництвах, де потрібна стабільна частота обертання двигунів ткацьких машин. Коливання напруги викликають миготіння ламп, що спричинює зниження продуктивності праці внаслідок стомлюваності очей, особливо на складанні точних механізмів, у креслярських роботах, тощо.

До розмахів зміни напруги відносять одиничні зміни напруг будь-якої форми з частотою повторення понад два рази за хвилину (1/60 Гц) і розмахи з частотою повторення від двох разів за хвилину до одного разу за годину, що мають середню швидкість зміни напруги понад 0,1%/с. для ламп розжарювання і 0,2%/с. для решти електроприймачів.

Для характеристики коливань напруги стандарт ДСТУ ЕН 50160:2014 вводить поняття дози флікера — інтегральна характеристика коливань напруги, що викликають у людини роздратування миготінням світла, яке накопичується за встановлений період часу.

Дозу флікера визначають з допомогою спеціального прилада — флікерметра.

Зменшенню коливань напруги допомогає розділення навантажень. Найпростішою є схема зі здвоєним реактором: спокійні та змінні навантаження підключають до різних секцій реактора **(рис. 1)**. Падіння напруги на кожній секції зменшується завдяки взаємоіндукції секцій.

Розмах коливань напруги можна знизити, зменшуючи опір мережі й підвищуючи швидкодію конденсаторних установок (КУ).

Найефективнішим методом зниження опору мережі є установка поздовжньої компенсації (УПК) [1, 5].

Як видно з векторної діаграми, УПК може стабілізувати напругу на затискачах електроприймачів, оскільки вектор добавки напруги залежить від величини струму і зростає при збільшенні струму навантаження. Реактивний опір УПК (величина $x_C$) може бути підібраний за векторною діаграмою. При цьому

$$x_C = \frac{U_{ном} \cdot \left(\Delta U\% - \Delta U_{доп}\%\right)}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{ном} \cdot \sin\varphi}, \qquad (1)$$

де:

$\Delta U\%$ — втрата напруги у мережі без УПК;
$\Delta U_{доп}\%$ — допустима втрата напруги;
$I_{ном}$ — номінальний струм.

Ефективність УПК суттєво залежить від опору мережі та cosφ навантаження.

Режим роботи конденсаторів при шунтовій і серієсній компенсації подано на **рис. 2** [1, 2, 5].

Конденсатори УПК підключені послідовно з навантаженням. Напруга на конденсаторах залежить від струму. Особливо небезпечним для УПК є режим короткого замкнення в мережі, коли струм збільшується в декілька разів. При цьому зростає і напруга. Застосовувати конденсатори на підвищену напругу економічно недоцільно[1, 5].

Для захисту УПК від перенапруги необхідно паралельно встановлювати розрядники (обмежувачі напруги). Вентильні розрядники не можуть захистити УПК, необхідно застосовувати швидкодіючі напівпровідникові обмежувачі, які б спрацьовували в перший напівперіод струму КЗ [1, 5].

Для захисту конденсаторів УПК можна використати метало-оксидні обмежувачі перенапруги (МО ОПН). Обмежувач складається тільки з двох елементів: циліндричних блоків метало-оксидних резисторів та корпусу з полімерного матеріалу. ОПН обмежує напругу, формуючи ділильник напруги разом з повним опором джерела перенапруги. Опір ОПН нелінійний і вище деякої границі навіть незначні зміни напруги призводять до різкого зростання струму через резистори. Чим вище нелінійність, тим вужчий діапазон залишкової напруги ОПН. Оскільки в МО ОПН відсутні будь-які іскрові проміжки, а нелінійність така, що при нормальних експлуатаційних режимах струм в резисторах незначний, ОПН знаходиться в робочому стані постійно і спрацьовує фактично без затримки. Коли напруга на затискачах ОПН підвищується, струм в резисторах зростає і

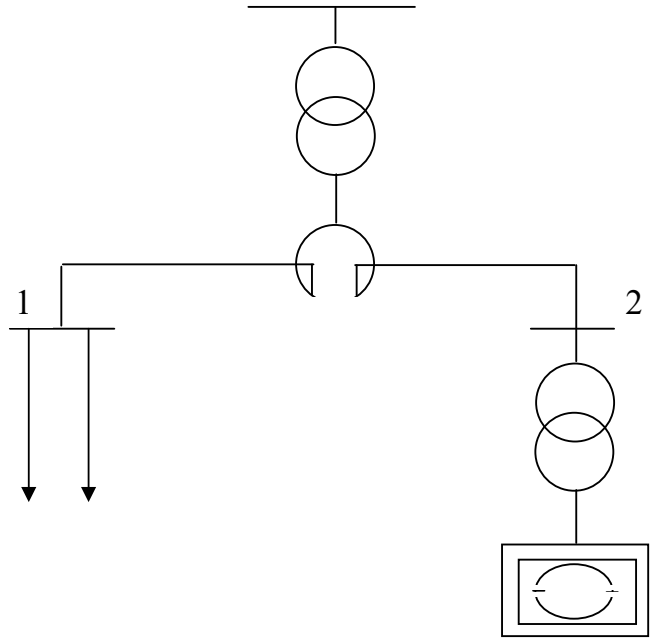



**Рис. 1.** Схема живлення навантажень з використанням здвоєного реактора: **1** — спокійне навантаження; **2** — швидкозмінне навантаження

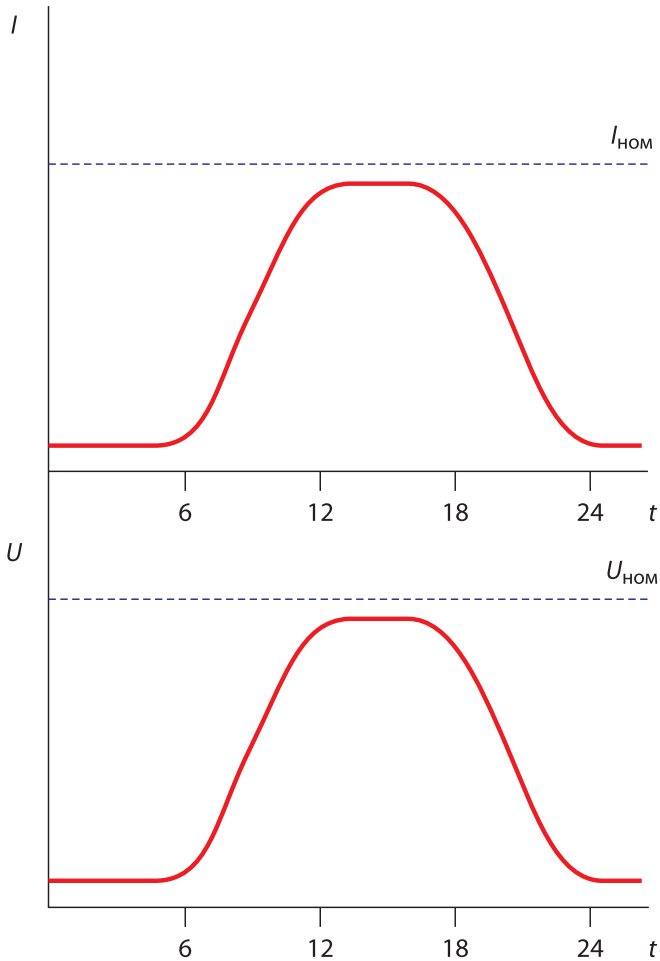



**Рис. 2.** Струм та напруга на УПК

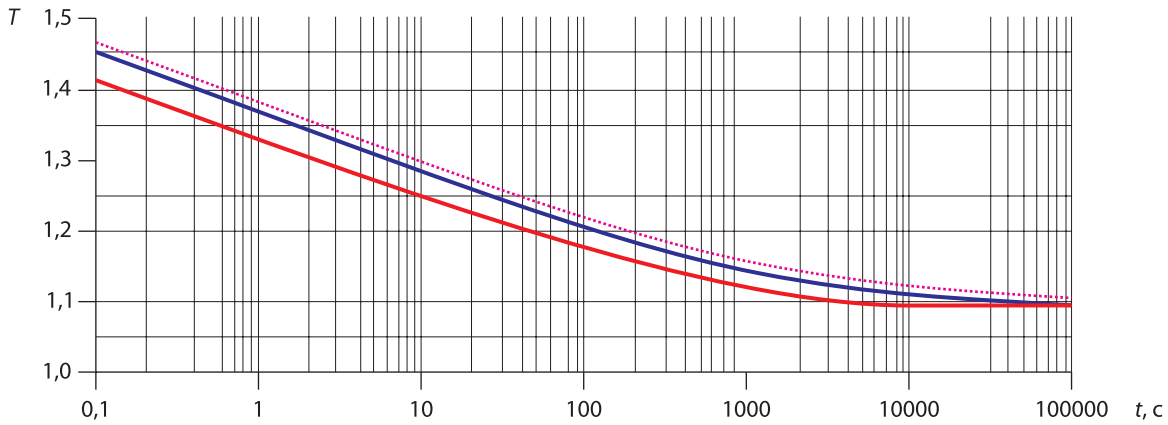



**Рис. 3.** Характеристики термічної стійкості ОПН в залежності від тривалості дії імпульсу перенапруги, ($T=U_{імп}/U_{ном}$)

збільшуються втрати енергії. Але, завдяки своїй масі, ОПН не руйнується, а тільки нагрівається до певного рівня. Релейний захист спрацьовує і вимикає пошкоджену дільницю мережі з УПК. Таким чином, негативна дія перенапруги на ОПН обмежується витримкою часу релейного захисту.

На **рис. 3** подані характеристики термічної стійкості ОПН в залежності від тривалості дії імпульсу перенапруги. Нижня крива характерна для ОПН, що попередньо навантажені потужними імпульсами додатково до чистої перенапруги (у випадку ОПН на 5 кА та 10 кА імпульсом форми 4/10 та амплітудою до 100 кА). Верхня крива характеризує випадок, коли на ОПН діє тільки імпульс перенапруги [1, 5].

Переваги УПК полягають в автоматичному безінерційному регулюванні напруги. До недоліків слід віднести резонансні явища на субгармоніках. Останні викликають коливання числа обертів двигунів, миготіння ламп, підвищений шум трансформаторів.

Особливу небезпечність являють струми короткого замикання. При цьому напруга на затискачах конденсаторів може зростати в десятки разів, і конденсатори вийдуть з ладу.

Установки поліпшують режим напруги в мережах тільки шляхом підвищення напруги при підвищенні струму навантаження. Слід враховувати, що надбавка напруги УПК може регулюватися, але для цього необхідно батарею конденсаторів секціонувати й комутувати окремо по секціях.

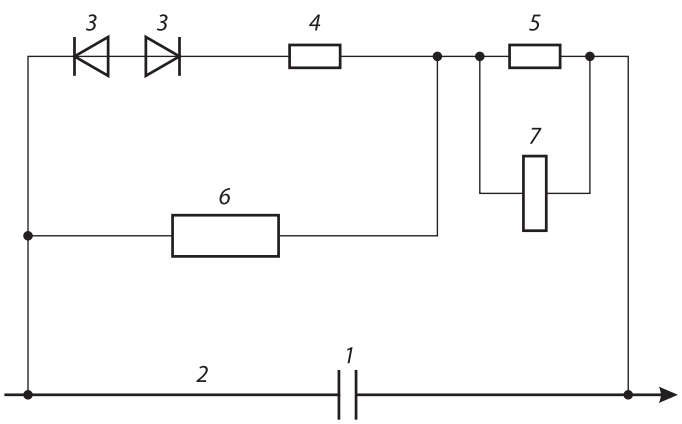



**Рис. 4.** Схема УПК з напівпровідниковим захистом від перенапруг

Надійніша схема УПК зображена на **рис. 4** [1, 5]. Вона містить батарею *1* конденсаторів установки поздовжньо-ємнісної компенсації, ввімкнену послідовно з навантаженням в лінію електропередачі *2*, обмежувач *3* перенапруг, виконаний із зустрічно-ввімкнених лавинних діодів; резистори *4* і *5*, вакуумний вимикач *6*, обмотки *7* керування вимикача.

Резистори *4*, *5* мають різний опір. Резистор *4* з більшим опором ввімкнений послідовно з діодами *3* і ця ділянка кола зашунтована вакуумним вимикачем *6*, обмотка керування якого підімкнена паралельно резистору *5* з меншим опором.

Напруга на конденсаторі установки поздовжньої ємнісної компенсації не повинна суттєво підвищуватися порівняно з нормальною навіть на короткий час. Батарею конденсаторів необхідно шунтувати під час першого півперіоду аварійної напруги, що і виконується колом, яке складається із лавинних діодів *3* і резисторів *4*, *5*. У нормальному режимі діоди *3* закриті, струм в опорі *5* дорівнює струму витоку діодів і контакти вимикача *6* розімкнені. При підвищенні напруги на конденсаторах *1*, що викликано феррорезонансом або субгармонічним резонансом, відбувається пробій діодів *3*. Паралельно батареї конденсатора *1* підімкнені резистори *4*, *5*. Відбувається зрив резонансних явищ, напруга на конденсаторах знижується до номінального рівня і лавинні діоди *3* відновлюють свої запірні здібності. У разі коротких замикань або тривалих перевантажень протягом першого півперіоду спрацьовують діоди *3*. Напруга з резистора *5* надходить на обмотку керування *7* вакуумного вимикача *6*. Вимикач замикає свої контакти і шунтує конденсаторну батарею *1*, діоди *3* і резистор *4*. Струм, що тече резистором *5*, утримує вимикач *6* у ввімкненому стані. Після того як лінію електропередачі вимкнути або струм у ній знизиться до нормальної величини, шунтуюче обладнання розмикається [1, 2, 5].

## ВИБІР ПАРАМЕТРІВ УПК

Втрати напруги в трансформаторі ТП [1, 5]:

$$\Delta U\% = \beta \cdot \left(e_a\% \cdot \cos\varphi + e_p\% \cdot \sin\varphi\right); \qquad (2)$$

$$e_a\% = \frac{r_T \cdot I_{ном}}{U_ф} \cdot 100\%; \qquad (3)$$

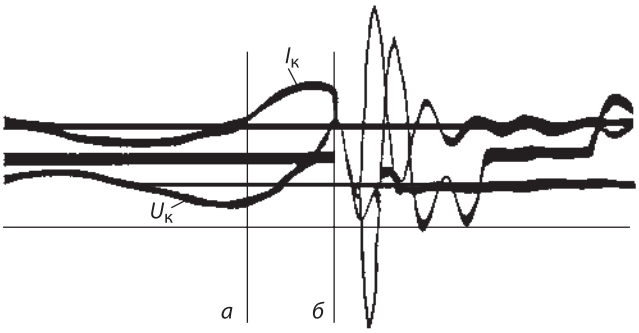



**Рис. 5.** Осцилограма процесу шунтування УПК: ***а*** — момент КЗ; ***б*** — момент спрацювання захисту

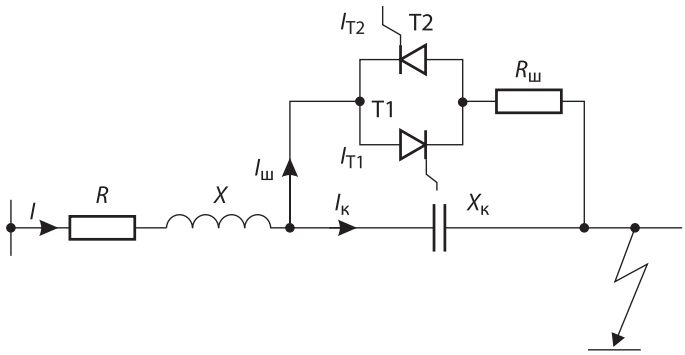



**Рис. 6.** Принцип роботи захисту УПК на блоках тиристорів [1, 5]

$$e_p\% = \frac{x_T \cdot I_{ном}}{U_ф} \cdot 100\%. \quad (4)$$

- $x_C$ — реактивна складова при наявності УПК.

$$\Delta U\% = \beta \cdot \left[ \frac{r_T \cdot I_{ном}}{U_ф} \cdot \cos\varphi + \left( \frac{x_T \cdot I_{ном}}{U_ф} - \frac{x_c I_{ном}}{U_ф} \right) \cdot \sin\varphi \right] \cdot 100\%; \quad (5)$$

$$\Delta U\% = \beta \cdot \left[ e_a\% \cdot \cos\varphi + \left( e_p\% - e_c\% \right) \cdot \sin\varphi \right]. \quad (6)$$

Параметри УПК:

- $e_C$ — добавка напруги, яку створює УПК. Як правило, добавку напруги визначають графічно. Для зварювальних установок.

$$x_c = \frac{e_c\% \cdot U_ф}{100\% \cdot I_{ном}} \; ; \; U_c = \frac{e_c\% \cdot U_ф}{100\%}. \quad (7)$$

Величина $x_C$ (див. **формулу (1)**) може бути підібрана за векторною діаграмою.

Добавку напруги УПК можна отримати з номограми **(рис. 7)**.

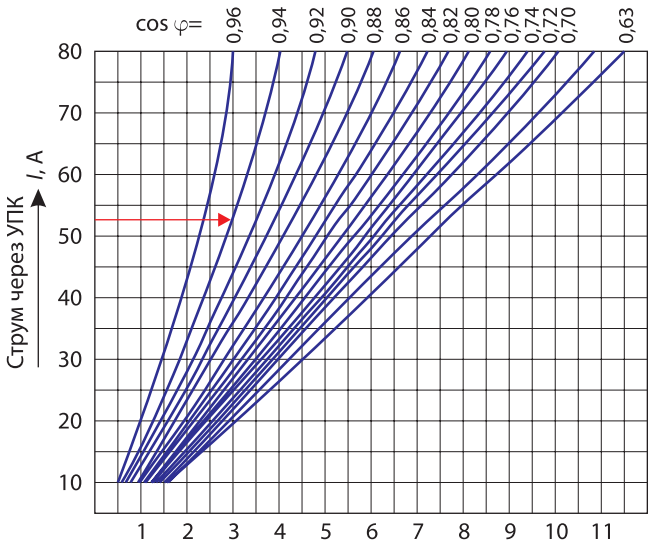



**Рис. 7.** Залежність добавки напруги, що створюється УПК в мережі напругою 10 кВ, з конденсатором потужністю 40 квар, від струму та cos j навантаження [1]

## ВИСНОВКИ

**1.** Коливання напруги викликаються різкою зміною навантаження на даній ділянці електричної мережі, наприклад, включенням асинхронного двигуна з великою кратністю пускового струму, технологічними установками з швидкозмінним режимом роботи, які супроводжуються поштовхами активної і реактивної потужності, такими, як привід реверсивних прокатних станів, дугові сталеплавильні печі, зварювальні апарати.

**2.** УПК — це швидкодіючий безінерційний регулятор напруги. УПК незамінна при коливаннях напруги.

**3.** УПК може підняти напругу в кінці лінії до номінального значення.

**4.** УПК найефективніша при навантаженні з низьким cosφ (лінія електропередачі з високим індуктивним опором — повітряна ЛЕП).

**5.** Коливання напруги призводять до вібрації двигунів, насосів, трубопроводної арматури. Знижується міцність металу, скорочується термін його служби. При коливаннях з частотою 1Гц, термін служби трубопроводів, внаслідок пульсацій напору насосів, скорочується на 5–7%.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова Книга, 2011. 656 с.
2. Шестеренко В.Є. Оптимізація систем електроспоживання промислових підприємств. Київ: ЧП “Глана”, 2001. 214 с.
3. Шестеренко В.Є. Електропостачання промислових підприємств. Київ, 2013. 424 с.
4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.10.2006.
5. Шестеренко В.Є. Проєктування систем електропостачання. Київ: ПП “К”, 2017. 436 с.
6. Omid Alizadeh Mousavi, Rachid Cherkaoui (2019), Investigation of P–V and V–Q base optimization methods for voltage and reactive power analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, pp. 769–778.
7. Thomas Morstyn, Branislav Hredzak, Vassilios G. Agelidis. 2018 Network Topology Independent Multi-Agent Dynamic Optimal Power Flow for Microgrids with Distributed Energy Storage Systems. IEEE Transactions on Smart Grid.
8. Jingshuang Shen. (2015). Controllable Load Management Approaches in Smart Grids.

**О.Ф. Кузь,**
головний інженер,
**компанія Prana**

**УДК 624.012.25:539.386**

Надійшла
Received 05.05.2025

# СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ

*Децентралізовані системи вентиляції з рекуперацією тепла є ефективним енергозберігаючим рішенням для забезпечення нормативного повітрообміну в житлових і громадських будівлях. Такі системи не потребують значних капітальних витрат, займають мінімальний простір, мають можливість індивідуального регулювання та мають можливість регулювання повітрообміну при наявності людей у приміщенні. Матеріал, що подано у даній статті, описує признаки збільшення попиту забезпечення необхідних параметрів мікроклімату, переваги використання децентралізованих систем вентиляції, а також, методи їх вдосконалення.*

***Ключові слова:*** *децентралізована система вентиляції, енергоефективність, рекуперація теплоти, рекуператор.*

## ВСТУП

Потреба людини в комфортному мікрокліматі в приміщенні призвела до багатьох важливих технічних винаходів, спрямованих на забезпечення опалення, охолодження та свіжого повітря в приміщенні. Для досягнення високої якості повітря та підтримки відповідної температури в приміщенні, особливо в жаркому чи холодному кліматі, є потреба в значних енерговитратах, через що попит на енергоефективні рішення зростає. Докладаються зусилля, як на технічному, так і на політичному рівнях, щоб мінімізувати споживання енергії в будівельному секторі [1].

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Приплив свіжого повітря дуже важливий для комфорту людини, щоб вести здорове та продуктивне життя. Певною мірою відбуваються витоки повітря з будівельних елементів, спричинені різницею тиску всередині та зовні. Але ці витоки здебільшого неконтрольовані, отже, вони викликають значні втрати енергії. Крім того, вони є ймовірною причиною потрапляння забрудненого повітря в приміщення, оскільки вони не фільтровані [2]. Як загальноприйнятий принцип, навантаження на інфільтрацію зберігаються якомога нижче в будівельних нормах, щоб зменшити споживання енергії. Для подачі необхідного свіжого повітря в приміщення використовуються механічні системи, однак вони зазвичай не вважаються правильним рішенням у всіх типах вентиляційних систем через високі інвестиційні витрати та вимоги до великого обсягу [3].

Розрізняють два типи систем механічної вентиляції: централізована та децентралізована. Централізована система вентиляції — більш складна та комплексна система. Монтаж централізованої вентиляції може займати декілька днів, а сама вентсистема потребує чимало супутніх деталей (повітропроводи, анемостати, дефлектори, решіт-

ки, перехідники, кабелі, кріплення та ін.), що суттєво здорожують проект. Повітропроводи важко піддаються сервісному обслуговуванню, з часом на стінках сідає пил, що потребує серйозного втручання для чистки. У житлових приміщеннях повітроводи централізованої вентиляції зазвичай ховають в конструкції стелі, тому після встановлення, такої вентиляції найчастіше приміщенню необхідний ремонт. У разі поломки вентиляційного блока необхідне втручання профільного спеціаліста та від'єднання системи від повітроводів, а це додаткові видатки для користувача [4].

Сучасні вимоги до систем вентиляції повітря обов'язково включають розрахунок їх енергоспоживання. Виробники вентиляційного обладнання надають орієнтовні показники, що відображають фактичне споживання енергії системою вентиляції будівлі. Аналіз методів оцінки енергоспоживання вентиляційних систем дозволяє визначити їхню енергоефективність та ступінь точності цих оцінок, що є актуальною задачею при виборі енергоефективних рішень для забезпечення оптимального мікроклімату. Також важливо визначити напрямки та методи підвищення енергоефективності вентиляційних систем.

В Україні витрати паливно-енергетичних ресурсів на експлуатацію житлового фонду є значними. Наразі на одного мешканця щороку на утримання житла витрачається 1,3–1,4 т умовного палива, а на опалення 100 м$^2$ загальної площі житлових будинків щороку витрачається приблизно 5,6–8,7 т умовного палива. У розрахунку на 1 м$^2$ загальної площі на теплопостачання житла в Україні витрачається в 1,5 раза більше енергоресурсів, ніж у США, і в 2,5–3 рази більше, ніж у Швеції. Приблизно чверть палива, що спалюється в Україні, витрачається на теплопостачання житлових будинків. Значні витрати теплової енергії в Україні пов'язані з системами центрального теплопостачання, де спалюється більша частина палива **(табл. 1)**, яка витрачається на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання [5].

У **табл. 1** наведені джерела втрат теплової енергії в Україні [5].

Метою економії енергії, що витрачається на теплопостачання будинків, є підвищення ефективності використання енергоресурсів через впровадження економічно обґрунтованих технічних заходів, які є прийнятними з екологічної та соціальної точки зору [6].

У **табл. 2** наведені основні заходи з економії енергії, яка витрачається на теплопостачання будинків, і очікувана річна економія енергії [6].

Відповідно до **табл. 2**, велика частина економії теплової енергії припадає на заходи, що стосуються систем забезпечення мікроклімату, зокрема — вентиляції. У цьому контексті проект кліматичної системи будівлі є дуже важливим, оскільки він впливає на ефективність використання ресурсів як під час виробництва чи реконструкції, так і під час експлуатації. Тому типові методи постачання опалення, охолодження та вентиляції час від часу ставляться під сумнів, і на ринку впроваджуються нові конструкції та методи.

Однією з основних вимог до будь-яких систем вентиляції, в тому числі і до систем децентралізованого типу є коефіцієнт ефективності рекуперації тепла вентиляційних установок, що повинен бути вищим за 75% із збалансованими масовими потоками за температури зовнішнього повітря 4°C (+/–1 K) і сухого витяжного повітря 21°C (+/–1 K) [7].

Сьогодні встановлення систем механічної вентиляції в новобудовах є обов'язковим, особливо в холодному кліматі. Згідно з даними Buildings Performance Institute Europe [8], механічна вентиляція є обов'язковою для багатоповерхових житлових будинків і будівель у деяких країнах із холодним кліматом, таких як Данія та Польща. Крім того, у деяких європейських країнах з м'яким кліматом паралельно зі зменшенням інфільтраційних навантажень дедалі частіше використовуються механічні децентралізовані вентиляційні системи.

Впродовж останніх років, питання ефективної вентиляції приміщень стає все більше актуальним. Підвищенням актуальності цього питання стали багато факторів, зокрема для різних приміщень. До прикладу, приміщень медичного призначення — через

**Таблиця 1. Розподіл теплової енергії між споживачами систем центрального теплопостачання на Україні з врахуванням втрат теплової енергії**

| Джерело втрат | Втрата теплової енергії | |
|---|---|---|
| | млн ГДж | Частка в % |
| Опалення | 876 | 59,3 |
| Вентиляція | 23 | 1,5 |
| Гаряче водопостачання | 299 | 20,2 |
| Втрати: | | |
| При виробництві тепла | 232 | — |
| В теплових мережах | 47 | — |
| Загальні затрати | 247 | 19,0 |
| **Взагалі** | **1724** | **100** |

**Таблиця 2. Основні інженерні заходи з економії теплової енергії, які використовуються у системах теплопостачання будинків**

| Назва | Збереження енергії, % |
|---|---|
| Покращення архітектурних та об'ємно-планувальних рішень будівель | 7–11 |
| Використання нових типів огороджувальних конструкцій (стін, вікон тощо) з високими теплоізоляційними властивостями | 8–13 |
| Утилізація тепла відпрацьованого повітря | 9–111 |
| Автоматизоване управління системами забезпечення мікроклімату | 15–30 |
| Ефективне використання природного та штучного освітлення | 7–9 |
| Застосування альтернативних джерел енергії, таких як тепло сонячної радіації, грунту, поверхневих вод, енергія вітру і т.д. | 20–40 |

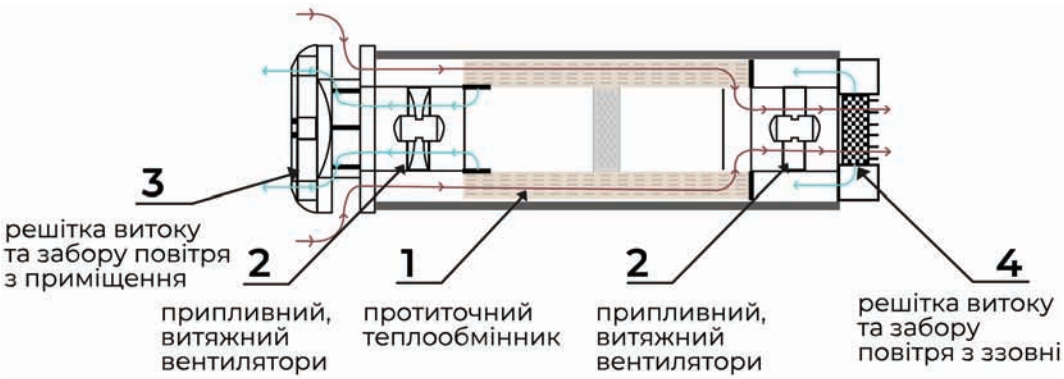



**Рис. 1.** Децентралізована система вентиляції протиточного типу

збільшення рівня вірусних захворювань, бомбосховищ, укриттів — через тривале перебування великої кількості осіб, приміщень дошкільних та навчальних закладів — в більшості, через актуальність проблеми недостатньої вентиляції.

У більшості приміщень природна система вентиляції не забезпечує рівень повітрообміну, який відповідав би національним стандартам. Зазвичай вентиляція здійснюється шляхом відкривання вікон, проте в таких приміщеннях, як актові зали, навчальні аудиторії, спортивні зали тощо, цей спосіб вентиляції викликає певний дискомфорт, особливо в холодний період року [9].

На сьогоднішній день актуальним є завдання формування мікроклімату в приміщеннях, проте складнішим це завдання є для приміщень на завершальній стадії ремонту, з висотою стелі не більше 3 м. Вся складність полягає в тому, що значні габаритні розміри вентиляційних установок, повітропроводів та ін., унеможливлюють застосування традиційних централізованих систем та деяких децентралізованих систем із монтажем обладнання в корисному об'ємі приміщення. Саме тому, вентиляції приміщень за допомогою компактних децентралізованих систем вентиляції стає все більш актуальним.

Згідно **табл. 2** основними заходами з економії теплової енергії є утилізація теплоти викидного повітря та автоматизоване керування системами мікроклімату. Тому, застосування децентралізованих систем вентиляції з рекуперацією теплоти — один з методів забезпечення постійної та ефективної вентиляції в закритих приміщеннях. Даний метод не витрачає велику частину енергії на підігрів отриманого повітря, та зберігає тепло, яке надходить від повітря, що виводиться. Можливість автоматизованого керування обсягом повітрообміну — також присутнє в даних системах за рахунок датчиків вуглекислого газу, вологості та якості повітря.

Під час перебування людей в приміщенні вікна залишаються зачиненими, що призводить до збільшення вологості, недостатньої кількості кисню та підвищення рівня вуглекислого газу. Однак при провітрювання природнім шляхом це призводить до значних втрат теплової енергії. Це підкреслює важливість встановлення механічної системи вентиляції з рекуперацією, що може бути реалізована через децентралізовані системи вентиляції. Використання децентралізованих систем дозволяє контролювати обсяг повітрообміну окремо в кожному приміщенні, що є важливим аспектом для забезпечення комфортних умов перебування.

В централізованих системах вентиляції достатньо складно керувати мікрокліматом окремо, також, це вимагає значних капітальних витрат та збільшує складність центрального регулювання, також експлуатації та додаткову складність щодо розподілення витрат коштів між мешканцями будинку[10].

Децентралізовані системи вентиляції поділяються на декілька типів, зокрема:

- за принципом дії (реверсивні, протиточні);
- за матеріалом теплообмінника(мідь, алюміній, целюлоза, кераміка та ін)

Найбільш ефективними системами вважаються протиточні системи з мідним або алюмінієвим теплообмінником **(рис. 1)** та реверсивні з матеріалом теплообмінника — кераміка **(рис. 2, 3)** [11, 12].

У **табл. 3** наведені основні переваги та недоліки децентралізованих систем вентиляції

Принцип дії децентралізованих протиточних систем вентиляції:

Децентралізовані протиточні вентиляційні системи одночасно працюють на приплив повітря у при-

**Таблиця 3. Основні переваги та недоліки децентралізованих систем вентиляції**

| Переваги | Недоліки |
|---|---|
| Компактність, естетичний зовнішній вигляд | Погіршення конвекції повітря в приміщенні за рахунок подачі та забору повітря поруч |
| Можливість встановлення після завершальної стадії ремонту | Невелика продуктивність, що потребує певної кількості систем для забезпечення необхідного повітрообміну |
| Економічність | Підвищений рівень шуму |
| Висока енергоефективність | Зниження ефективності при впливі природньої системи вентиляції |
| Простота встановлення, обслуговування та розподілення витрат коштів на експлуатацію | Змішування повітряних потоків припливного та витяжного повітряних потоків |
| Можливість контрольованої вентиляції окремих приміщень | — |

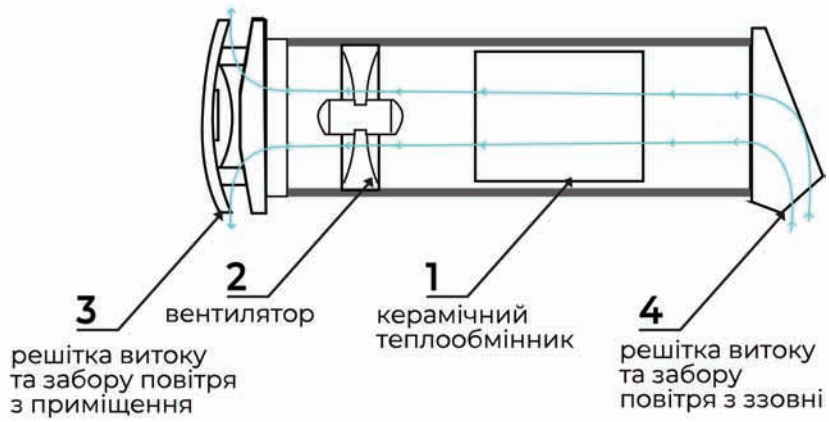



**Рис. 2.** Децентралізована система вентиляції реверсивного типу — цикл припливу повітря

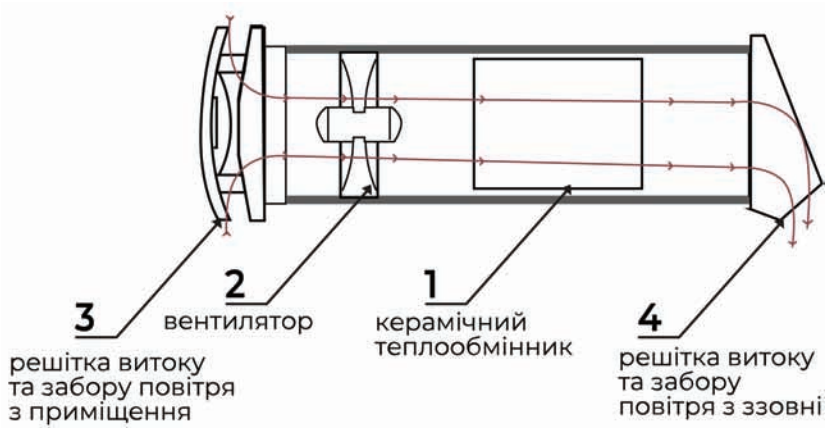



**Рис. 3.** Децентралізована система вентиляції реверсивного типу — цикл видалення повітря

міщення та видалення повітря назовні. У теплообміннику відбувається міжканальна передача тепла: витяжне повітря через стінки теплообмінника передає теплову енергію припливному повітрю. Конструкція цих систем зазвичай складається з двох вентиляторів, теплообмінника протиточного типу, решітки забору та подачі повітря, що розташовуються у приміщенні та назовні **(рис. 1)**. Додатково можуть бути оснащені повітряними фільтрами [13, [14].

Основним недоліком таких систем є можливість змішування припливного та витяжного повітря в безпосередній близькості до припливного та витяжного патрубків, що значно впливає на ефективність системи.

Принцип дії децентралізованих реверсивних систем вентиляції: Конструкція цих систем зазвичай складається з решітки подачі повітря, повітряного фільтра, вентилятора та керамічного теплообмінника.

Під час роботи реверсивного провітрювача, відпрацьоване повітря з приміщення виводиться за допомогою вентилятора. Це повітря пройде через керамічний акумулятор, який нагріватиме припливне повітря. Автоматично через певний проміжок часу реверсивний провітрювач переключається в режим припливу **(рис. 2)**. Під час роботи реверсивного провітрювача, вентилятор забирає повітря з вулиці. Це повітря прогрівається, коли проходить через керамічний теплообмінник. Після цього циклу вентилятор знову переходить у режим витяжки **(рис. 3)**.

Важливо врахувати, що при такій вентиляції забрудники повітря не в повній мірі виводяться назовні, а затримуються в керамічному теплообміннику у витяжному циклі, й потім повертаються назад у приміщення при приточному циклі роботи реверсивного провітрювача. У випадку наявності фільтра, описаний ефект має гірші наслідки — забрудники, серед яких можуть бути бактерії, віруси та грибкові спори, що осідають на фільтр під час роботи реверсивного провітрювача на витяжку, при зміні циклу на приточний — розповсюджуються на все приміщення.

Реверсивні провітрювачі виконують функції припливу та витяжки поперемінно, що потребує встановлення їх парами в кожній кімнаті: окремо для припливу і окремо для витяжки, з можливістю налаштування синхронної роботи.

## ПОСТАНОВКА МЕТИ І ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою даної статті є обґрунтування доцільності застосування децентралізованих систем вентиляції, аналіз конструкцій систем, визначення основних їх переваг та недоліків.

Напрямками досліджень в даній статті є аналіз недоліків децентралізованих систем вентиляції, а саме: змішування повітряних потоків припливного та витяжного повітря та погіршення конвекції

в приміщенні за рахунок подачі та забору повітря поруч **(табл. 3)**, що є важливими аспектами для забезпечення ефективного вентилювання приміщень та подачі припливної струмини в робочу зону. Направлення чистого повітря в зону перебування людей з урахуванням температури, вологості та швидкості потоку та відсутність змішування повітряних потоків стає ключовим аспектом роботи децентралізованої системи вентиляції. Системи вентиляції із рекуперацією теплоти реверсивного типу мають ряд суттєвих недоліків саме в принципі своєї роботи. етою досліджень є визначення значення кількості змішування потоків припливного та витяжного повітря у вентиляційних установках із теплообмінниками протиточного типу

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оцінки ефективності децентралізованих протиточних систем вентиляції були проведені експериментальні випробування на стенді з використанням системи протиточного типу “Прана-150”. Масові витрати повітря вимірювалися в стаціонарних умовах при напрузі 230 В.

Випробування проведено на випробувальному стенді **(рис. 4, 5)** за допомогою децентралізованої системи вентиляції протиточного типу **(рис. 1)**, що містила усі компоненти та була встановлена згідно паспорту та інструкцій виробника.

Характеристики потоків повітря (припливного та витяжного) визначалась відповідно до EN ISO 5801 для стандартних умов повітря (20°C, 101 325 Па).

Об’єм приміщення із внутрішньої сторони (відкрита кімната): 150 м$^3$.

Коефіцієнт передачі припливного повітря вимірювався за допомогою індикаторного газу при 0 Па і вентиляторів при максимальному налаштуванні витрати повітря. Індикаторний газ вводився у зовнішню впускну трубу якомога ближче до решіток 2, 3 **(рис. 4)**.

Вимірювання індикаторного газу ($CO_2$) проводилось приладом Testo 535 з точністю ±3% та діапазоном вимірювання від 0 до 5000 ppm та дублюючим приладом Hti ht-501.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Вимірювання № 1.** Для вимірювання коефіцієнта передачі припливного повітря дефлектор вставлювався між внутрішніми гратами та був загерметизований, для гарантії, що витяжний газ не змішується назад у впускний отвір. Дефлектор рекуператора був встановлений між витяжним і впускним отворами. Він був закріплений на зовнішній стороні решітки і простягався на 300 мм у кожному напрямку. Індикаторний газ вводився у зовнішню впускну трубу, і концентрація вимірювалась, як у витяжному, так і в притікальному отворах. Передача припливного повітря визначалась, як співвідношення двох концентрацій, як задано формулою **(1)**.

$$R_c = \left(\frac{C_{12} - C_{21}}{C_{22} - C_{21}}\right)_c \cdot 100\% . \qquad (1)$$

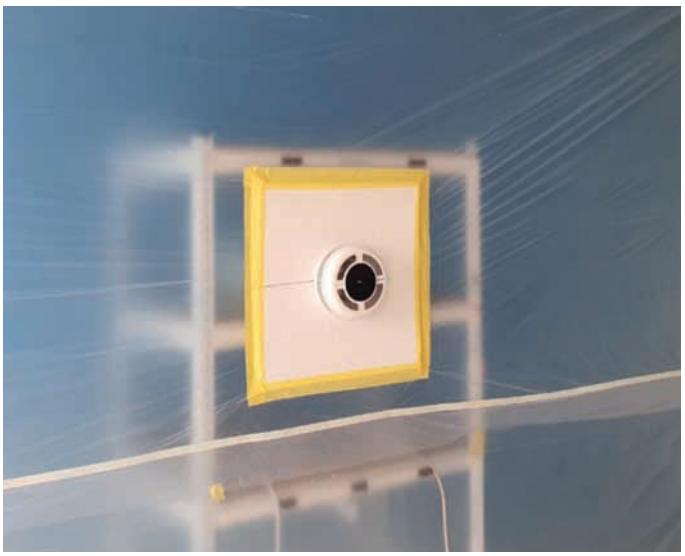


**Рис. 5.** Принципова схема випробувального стенду. Рекуператор “Прана-150”

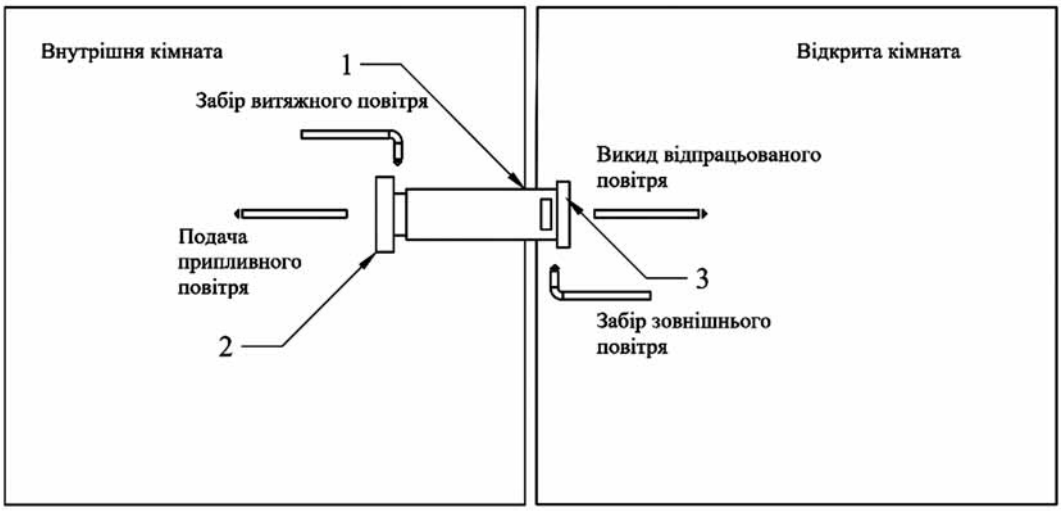



**Рис. 4.** Принципова схема випробувального стенду: **1** — Рекуператор “Прана-150”; **2** — внутрішня решітка подачі та забору повітря; **3** — зовнішня решітка забору та викиду повітря

**Рис. 6.** Візуалізація повітряного потоку припливного повітря

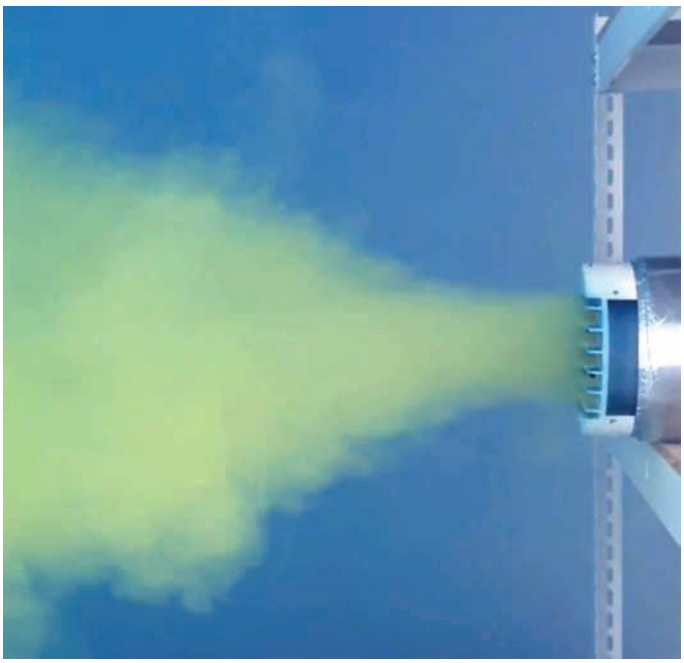


**Рис. 7.** Візуалізація повітряного потоку відпрацьованого повітря

**Вимірювання № 2.** Окреме вимірювання змішування проводилось, як для внутрішньої, так і для зовнішньої решітки. Вимірювання з найвищим процентним показником використовувалось для розрахунків. Змішування в приміщенні розраховувалось як різниця між відсотками, виміряними під час цього випробування, і внутрішнім витоком зовнішнього повітря, як задано формулою **(2)**.

$$R_{mi} = \left[ \left( \frac{C_{12} - C_{21}}{C_{22} - C_{21}} \right)_d - \left( \frac{C_{12} - C_{21}}{C_{22} - C_{21}} \right)_c \right] \cdot 100\% . \qquad (2)$$

Тривалість випробування була обмежена таким чином, щоб будь-який вплив забруднення/насичення випробувального приміщення газом було зведено до мінімуму.

Візуалізація повітряних потоків. Зафіксовано вихід повітряних потоків припливного **(рис. 6)** та відпрацьованого повітря **(рис. 7)**.

Експериментальні дослідження показали, що протиточні системи забезпечують ефективну рекуперацію тепла при мінімальному змішуванні припливного та витяжного повітря. При встановлених мінімальних відстанях між припливним і витяжним патрубками змішування становило лише 3%.

## ВИСНОВКИ

Згідно з результатами досліджень децентралізовані системи вентиляції з рекуперацією тепла є дієвим та ефективним рішенням для забезпечення вентилювання приміщень та енергозбереження. Вони характеризуються значними економічними перевагами у порівнянні з централізованими системами, оскільки не потребують складних систем повітропроводів та трудомістких монтажних робіт, що сприяє зниженню капітальних витрат та скороченню терміну окупності, відповідаючи останнім тенденціям у сфері енергоефективного будівництва.

Порівняння децентралізованих систем вентиляції, а саме пропротиточного та реверсивного типів встановило ряд переваг та недоліків. Реверсивні рекуператори забезпечують високу ефективність лише на початках циклів своєї роботи та мають обмежену можливість фільтрації повітря. Рекуператори протиточного типу мають недолік змішування повітряних потоків припливного та витяжного повітря, якщо припливний та витяжний канали розташовані поруч. Однак в проведених експериментальних дослідженнях рекуперативної вентиляційної установки протиточного типу, при встановленим мінімально заявленим виробником відстаннями між припливним і витяжним патрубком змішування потоків становило 3%.

Отже, перспективи майбутніх досліджень спрямовуються на децентралізовані системи протиточного типу, як більш досконалих систем, в порівнянні із системами з реверсивними теплообмінниками. Децентарлізовані системи вентиляції із проти точними теплообмінниками забезпечують максимальні значення теплообміну, так і забезпечення комфортних умов використання для споживачів.

## ЛІТЕРАТУРА


1. *Dr. Łukasz Amanowicz, Dr. Katarzyna Ratajczak, Dr. Edyta Dudkiewicz*. Recent Advancements in Ventilation Systems Used to Decrease Energy Consumption in Buildings.
2. *Ратушняк Г.С., Ратушняк О.Г*. Управління енергозберігаючими проектами термореновацііі будівель. Навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. 130 с.
3. *Возняк О.М*. Теплогазопостачання та вентиляція: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 276 с.
4. Toftum J., Zhou G., Melikov A. Belgium effect of airflow direction on human perception of draught // Proceedings of Clima 2000 Conference, held Brussels, August 30th to September 2nd 1997, paper 366 Institute of Environmental Engineering and Building Installations, Poznan University of Technology, 2023.

5. ДСТУ EN 308-2001 Теплообмінники. Методи випробовування пристроїв регенерування теплоти повітря-повітря та повітря-відпрацьований газ для визначання експлуатаційних характеристик (EN 308:1997, IDT).
6. *Merzkirch A., Maas S., Scholzen F., Waldmann D.* A semi-centralized, valveless and demand controlled ventilation system in comparison to other concepts in field tests. Building and Environment. November 2015. Vol. 93, Part 2, 21–26.
7. Децентралізовані припливно-витяжні системи вентиляції з рекуперацією тепла «Прана»: Технічний паспорт приладу моделей Prana-150, Prana -200G, Prana-200C.
8. Децентралізовані припливно-витяжні системи вентиляції з рекуперацією тепла “Клімтек”: Технічний паспорт приладу моделей РД-150 та РДЦ-150.
9. Децентралізовані реверсивні системи вентиляції з рекуперацією тепла Blauberg. Технічний паспорт приладу моделі Expert A100-1 S10 W V.2.
10. Децентралізовані реверсивні системи вентиляції з рекуперацією тепла Aspira. Технічний паспорт приладу Ecocomfort 160 RF.

## МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ И ВЫШЕ

### А.М. Манилов, С.А. Товстюк

В монографии представлены материалы, касающиеся повышения надежности защиты трансформаторов, генераторов, электродвигателей, линий, шин и автоматики путем усовершенствования проєктируемых, реконструируемых и существующих электроустановок. Исследования базируются на анализе опыта проєктирования и эксплуатации релейной защиты и автоматики электроустановок до 1 кВ и выше.

**В монографии приведены:**

- схемы, обеспечивающие действие токовой отсечки при КЗ в любом месте трансформатора, защиты при КЗ и ОЗЗ в любом месте электродвигателя;
- схемы, повышающие чувствительность защит трансформаторов, линий, электродвигателей;
- защиты шкафов и шин КРУ, действующие при ОЗЗ до перехода в КЗ.

Схемные решения направлены на увеличение быстроты срабатывания, например, МТЗ трансформатора. Повышение чувствительности и уменьшение времени срабатывания обеспечивается логической блокировкой, действующей при внешнем КЗ.

Также приведены обоснования необходимости релейной защиты трансформатора с выключателем нагрузки и предохранителем в его цепи для обеспечения термической устойчивости трансформатора, защита от обрыва фазы с падением или без падения провода на землю, защиты на солнечных электростанциях с учетом того, что токи КЗ и токи генерации соизмеримы, схемы дальнего резервирования в сетях до и выше 1 кВ, способы исключения пожаров при КЗ в сети до 1 кВ, схемы блокировки включения электродвигателя на короткое замыкание в нем, схема защиты трансформатора тока от повреждения при обрыве в токовых цепях, а также ряд других схем. Схемы могут быть выполнены с использованием любой элементной базы.

**Монография включает следующие разделы:**

1. Защита трансформаторов.
2. Защита от коротких замыканий воздушных и кабельных линий в сетях напряжением 6 кВ и выше.
3. Защита от однофазных замыканий на землю и от разрыва фаз в сетях напряжением 6–35 кВ.
4. Альтернативные источники электроэнергии.
5. Защита шин и шкафов напряжением выше и до 1 кВ.
6. Защита электродвигателей и генераторов.
7. Защита от коротких замыканий в сетях напряжением до 1 кВ.
8. Общие вопросы.

НАБЛИЖАЄМО ЕНЕРГЕТИКУ
МАЙБУТНЬОГО СЬОГОДНІ

# XVII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

## ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕКОЛОГІЇ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

**14–16 жовтня**

# EcoEnergy Expo'2025


МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
м. Київ, Броварський пр-т, 15

+38 (095) 268-05-84
lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua

# ОПТИКО-ЕМІСІЙНІ СПЕКТРОМЕТРИ BRUKER: ГАРАНТІЯ ЯКОСТІ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ

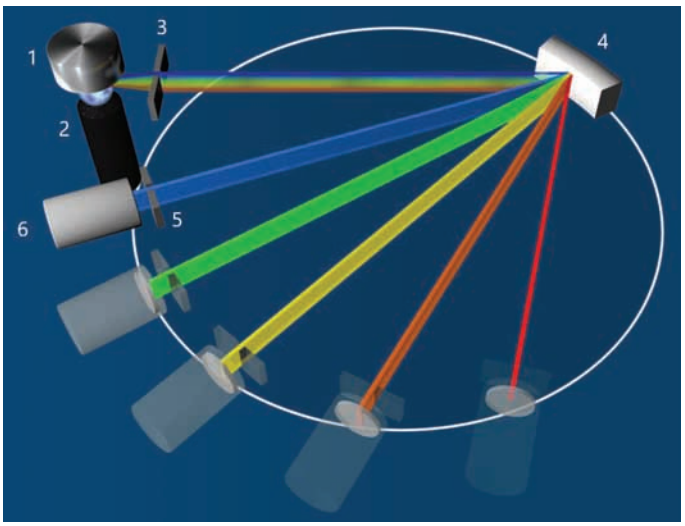
В умовах жорстких вимог до надійності та безпеки енергетичного обладнання, контроль якості металів та сплавів набуває критичного значення. Оптико-емісійні спектрометри (OES) від Bruker AXS — це передове рішення, що забезпечує швидкий, точний та надійний аналіз хімічного складу матеріалів на всіх етапах виробництва електростанцій, електричних машин, електрогенераторів та конструкцій енергетики.

Аналіз методом OES дозволяє отримати точні результати протягом менше хвилини, в діапазоні концентрацій від одиниць ppm до десятків відсотків. OES спектрометри визначають наявність та концентрацію елементів починаючи від літію в матрицях (матриця або база — це основний метал зразка, концентрація якого дорівнює 50% або більше) Al, Co, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb, Sn, Ti, Zn металів. Все, що для цього потрібно, це прилад, балон з аргоном і зразок для аналізу.

## ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ

Принцип роботи OES спектрометрів полягає у подачі електричної енергії у вигляді дуги (у повітрі) або іскри (в аргоні), що генерується між електродом (2) та зразком металу (1), внаслідок чого атоми переходять у стан високої енергії.

Ці атоми та іони, збуджені у плазмі розряду, створюють спектр випромінювання, специфічний кожному з елементів зразка. Таким чином, кожен елемент у зразку генерує безліч характерних спектральних ліній випромінювання. Довжини хвиль, що випромінюються знаходяться в діапазоні від 110 нм




до 800 нм (відповідає ультрафіолетовому і видимому випромінюванню).

Отже, можна сказати, що світло, що генерується розрядом, є сукупністю спектральних ліній, що генеруються елементами, присутніми в зразку. Світлове випромінювання виділяється вхідною щілиною (3), та потрапляє на дифракційну грату (4). Розкладений в спектр сигнал виходить через вихідні щілини (5) і потрапляє на детектори (6), після чого відбувається обробка сигналу електронною схемою та ПЗ приладу.

Спектр заліза

## ПЕРЕВАГИ, ПОРІВНЯННЯ З ІНШИМИ МЕТОДАМИ

**Основні переваги OES методу:**

- легка пробопідготовка (потрібна плоска, чиста поверхня);
- просте використання, не потрібне часте перекалібрування (у порівнянні з ICP);
- безпечний (порівняно з методами “мокрої” хімії);
- швидкість аналізу, повний аналіз на всі елементи в пробі займає менше хвилини;
- відсутність витратних матеріалів та шкідливої хімії (необхідний тільки аргон);
- стабільний, прецизійний та точний аналіз (від одиниць ppm до десятків %);
- хороша точність аналізу легких елементів Li, Be, B, C, N, O (порівняно з рентгенофлюорисцентним методом);
- автоматична класифікація марок сплавів.

## ЗАСТОСУВАННЯ

Енергетична галузь оперує з надзвичайно відповідальними об’єктами, де найменші дефекти матеріалів можуть призвести до серйозних наслідків — від економічних втрат до загрози безпеці. Саме тому використання високоточного аналітичного обладнання, такого як OES Bruker AXS, є не просто бажаним, а абсолютно необхідним.

## ЧОМУ ОПТИКО-ЕМІСІЙНІ СПЕКТРОМЕТРИ BRUKER AXS Є ОПТИМАЛЬНИМ ВИБОРОМ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ В ЕНЕРГЕТИЦІ?

- **Виняткова швидкість аналізу:** OES Bruker AXS забезпечують отримання результатів аналізу вже через кілька десятків секунд. Це дозволяє здійснювати оперативний контроль якості вхідної сировини, напівфабрикатів та готової продукції, мінімізуючи затримки у виробничому циклі та запобігаючи використанню неякісних матеріалів на наступних етапах.
- **Висока точність та відтворюваність результатів:** завдяки передовій оптичній системі та потужному програмному забезпеченню, спектрометри Bruker AXS гарантують високу точність визначення концентрації елементів у широкому діапазоні — від основних легуючих до мікродомішок. Це критично важливо для забезпечення відповідності матеріалів суворим галузевим стандартам (ASTM, EN, DIN тощо) та технічним умовам.
- **Широкий спектр аналізованих матеріалів:** OES Bruker AXS здатні аналізувати практично всі типи металів та сплавів, що використовуються в енергетиці:
  - **сталі:** вуглецеві, леговані, нержавіючі, жароміцні, корозійностійкі (для корпусів реакторів, трубопроводів високого тиску, турбін, котлів);
  - **кольорові метали та сплави:** алюмінієві (для обмоток, радіаторів), мідні (для провідників, теплообмінників), титанові (для високоміцних та корозійностійких елементів);
  - **спеціальні сплави:** нікелеві, кобальтові та інші сплави для роботи в екстремальних умовах (високі температури, агресивні середовища).
- **Різноманітність моделей для будь-яких потреб:** Bruker AXS пропонує широкий модельний ряд оптико-емісійних спектрометрів, включаючи:
  - стаціонарні лабораторні спектрометри: для високоточного аналізу великої кількості зразків у контрольно-аналітичних лабораторіях підприємств.
- **Простота експлуатації та обслуговування:** інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення та надійна конструкція спектрометрів Bruker AXS забезпечують зручність в роботі та мінімальні витрати на обслуговування.
- **Повна інтеграція з виробничими процесами:** OES Bruker AXS легко інтегруються в існуючі системи контролю якості, забезпечуючи безперервний моніторинг хімічного складу матеріалів на ключових етапах виробництва.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ OES BRUKER AXS У ВИРОБНИЦТВІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

- **Контроль якості вхідної сировини:** запобігання використанню неякісного металопрокату, лиття та інших заготовок, що не відповідають вимогам за хімічним складом.
- **Оперативний контроль технологічних процесів:** моніторинг змін хімічного складу металу під час зварювання, термічної обробки та інших виробничих операцій.
- **Кваліфікація зварювальних матеріалів та контроль якості зварних з'єднань:** аналіз хімічного складу зварних швів для забезпечення їх міцності та стійкості до корозії.
- **Ідентифікація матеріалів:** швидке та точне визначення марки сталі або сплаву для запобігання помилкам при складанні та ремонті обладнання.
- **Аналіз причин виходу з ладу обладнання:** дослідження хімічного складу пошкоджених деталей

для встановлення причин виходу з ладу обладнання та розробки заходів щодо їх запобігання в майбутньому.

- **Підтвердження відповідності готової продукції стандартам:** гарантія того, що вироблене обладнання відповідає всім вимогам щодо хімічного складу матеріалів.

## ПРИЛАДИ

Німецька компанія **Bruker** випускає лінійку оптико-емісійних спектрометрів, в якій можна вибрати відповідний до Ваших аналітичних завдань прилад. Це системи, які повністю конфігуруються, це означає, що при замовленні можна оптимізувати конфігурацію в залежності від ваших потреб (кількість матриць і методів, перехідники для зразків).

**Q2 ION** — ультракомпактний прилад масою менше 20 кг, який легко переміщати. Підходить для вхідного контролю металу на невеликих підприємствах, для PMI, як резервний прилад. Доступні Fe, Al, Cu, Zn, Sn матриці.

**Q4 POLO** — Настільний прилад із широкими аналітичними можливостями. Доступні Fe, Al, Cu, Ni, Ti матриці.

**Q4 TASMAN** — Удосконалена настільна OES на базі ПЗЗ-матриці виробляється у трьох варіантах виконання (TASMAN130, TASMAN170, TASMAN200). Доступні для Al, Co, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb, Sn, Ti, Zn матриць.

**Q6 NEWTON** — Новий прилад у лінійці OES аналізаторів Bruker, виконаний на базі КМОП датчиків, з унікальною системою активної термостабілізації спектрометра та зниженою на 40% витратою аргону.

**Q8 MAGELAN** — Висококласна, точна продуктивна підлогова система з ФЕУ детекторами, які забезпечують кращу межу виявлення та стабільність результатів. Призначена для лабораторій, а також для контролю технологічних процесів на великих підприємствах. Доступний для 10 матриць.

Обираючи оптико-емісійні спектрометри Bruker AXS, ви отримуєте не просто аналітичне обладнання, а надійного партнера у забезпеченні бездоганної якості металів та сплавів, що є запорукою безпечної та ефективної роботи енергетичних об'єктів.

З питань придбання обладнання **Bruker AXS** звертайтеся до офіційного представника — компанії **Текса**:

**ТОВ ТЕКСА**
Телефон +380 67 446-90-48
E-mail: info@tecsaukraine.com.ua
Сайт: **www.tecsa.com.ua**

**ТОВ "ТЕКСА" є постачальником аналітичного, випробувального та обладнання для пробопідготовки, стандартів, витратних матеріалів та вакуумних стрічкових фільтрів, забезпечує підтримку та сервіс.**

**Що ми пропонуємо?**

- **Рішення для визначення елементного складу та структури матеріалів компанії Bruker AXS (Німеччина):**
  - **Структурний аналіз** методом рентгенівської дифракції (XRD, рентгенівські дифрактометри);
  - **Елементний аналіз:** рентгенофлуоресцентні спектрометри (XRF), оптико-емісійні спектрометри (OES), аналізатори газів згоряння (CGA, аналіз C, S, O, N, H, дифузійний водень);
  - 3D рентгенівська мікроскопія (XRM).

  Обладнання Bruker AXS використовується по всьому світу в підприємствах гірничодобувної, металургійної, нафтохімічної, цементної, машинобудівної промисловостей та академічних установах.
- **Обладнання для пробопідготовки та витратні матеріали Fluxana, Powteq, Chemplex**
- **Камери кліматичних випробувань Cofomegra, Biuged, C&W**
- **Вакуумні конвеєрні фільтри від Sefar**

IX МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

# MINING & MINERALS EXPO

## 14–16 ЖОВТНЯ 2025

**ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**


**МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**
**м. Київ, Броварський пр-т, 15**

☎ **+ 38 (066) 921-47-51**
✉ **sher@iec-expo.com.ua**
🌐 **www.iec-expo.com.ua**

Надійшла
Received 26.05.2025

# ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ — ЗАПОРУКА УСПІШНОГО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ НАШОЇ КРАЇНИ

**О.І. Стасюк,**
д-р техн. наук, професор, професор кафедри "АКІТТ", лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки

**Київський інститут залізничного транспорту Національного транспортного університету**

**В.М. Слинько,**
канд. техн. наук, ст. наук. співроб., керівник науково-дослідного центру випробувань засобів автоматизації енергетики

**Інститут електродинаміки НАН України**

Сьогодення української енергетики характеризується небезпекою воєнних уражень об'єктів генерації, транзиту та розподілу електроенергії. Це створює нові виклики та умови роботи енергосистеми та особливий характер перебігу електромагнітних процесів. Відбудова енергетичної системи не може спиратися на застарілі методи; вона потребує сучасних підходів з використанням новітніх досягнень інформаційно-комунікаційних технологій, зокрема, Інтернет-речей. Відбудова об'єктів енергетики України повинна здійснюватися уже на сучасних підходах відновлення як єдиної енергетичної системи, так і її локальних складових з урахуванням досвіду роботи енергетичної галузі за воєнні роки.

Враховуючи поточні виклики, з якими стикається енергетичний сектор України, включаючи тривалу повномасштабну агресію та необхідність модернізації застарілої інфраструктури, цифрова трансформація є критично важливим фактором для забезпечення енергетичної безпеки та сталого розвитку.

Стало загально визнаним, що цифрова трансформація — це зміна звичних бізнес-моделей завдяки цифровим технологіям та забезпечення нових можливостей щодо отримання додаткової вартості у нових чи існуючих сегментах ринку електричної енергії або надання послуг. Узагальнено цифрова трансформація може бути визначена як поширення використання цифрових технологій для прискорення впровадження нових енергетичних технологій та бізнес-стратегій в електроенергетиці.

Цифрові технології пропонують широкі можливості для підвищення енергоефективності та оптимізації керування складними енергетичними системами в усіх ланках ланцюга поставок, від планування інфраструктури, експлуатації та обслуговування через виробництво та передачу енергії до споживання енергії. Цифровізація дає змогу енергетичним компаніям вийти на новий рівень технологічної ефективності та постає ключовим фактором підвищення надійності та якості електропостачання споживачів, а також сприяє розвитку нових сервісів.

Аналіз показує, що до ключових факторів, які сприяють розгортанню цифрових технологій в енергосистемах, у першу чергу, необхідно віднести:

- надання переваг для регуляторів в частині доступу до даних та аналітики в режимі реального часу для динамічного прийняття рішень;
- ефективне керування електроенергетичними об'єктами;

- підвищення продуктивності та зменшення споживання енергії;
- впровадження інфраструктури та стандартів для забезпечення надійного зв'язку між елементами системи, розширена інфраструктура вимірювання;
- управління даними із забезпеченням їхньої кібербезпеки та конфіденційності.

Успішне вирішення зазначеної актуальної проблеми в нашій країні представлено в роботі "Цифрова трансформація електроенергетики України в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення", висунутої Інститутом електродинаміки НАН України на здобуття Національної премії України імені Бориса Патона 2025 р.

**Мета роботи** — створення наукових та науково-прикладних основ цифрової трансформації електроенергетики України, комплексного впровадження передових цифрових технологій **Smart Grid**, систем моніторингу та керування, направлених на системну інтелектуалізацію та пришвидшений розвиток електромереж передачі та розподілу, побудову локальних електроенергетичних систем при зміні структури генеруючих потужностей (зростанні частки розподілених енергетичних ресурсів, зокрема відновлюваних джерел енергії) в загальному балансі ОЕС України в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення енергетичного сектора із урахуванням вимог євроінтеграції щодо декарбонізації української економіки та розвитку нормативного забезпечення.

Особливої актуальності дослідження набуває в умовах систематичних ракетних та дронових атак на критичну енергетичну інфраструктуру України.

У роботі чітко обґрунтовано, що сьогодні цифровізація стає центральним елементом розвитку сучасної енергетики, оскільки вона може суттєво покращити доступність, стабільність роботи та стійкість енергосистеми. Тому важливо створити наукові та науково-прикладні основи цифрової трансформації в електроенергетиці України, а також впровадити передові цифрові технології Smart Grid, запропоновані авторами цього дослідження.

Робота містить чітке бачення розвитку електроенергетичної галузі відповідно до європейських тенденцій, із врахуванням національних особливостей та потреб відновлення інфраструктури. Дослідження авторського колективу охоплює широке коло сучасних проблем, пов'язаних із впровадженням сучасних цифрових технологій для аналізу та оптимізації функціонування енергосистем у реальному часі, моніторингу та прогнозування споживання енергії, а також створення інтелектуальних систем шляхом інтеграції інтелектуальних агентів для керування електромережами. Саме цифрова трансформація є основою для підвищення енергетичної незалежності, мінімізації втрат внаслідок пошкоджень та кібератак, ефективного планування відновлення критичної інфраструктури, а також розвитку "розумних мереж" (Smart Grid) та інфраструктури для відновлюваних джерел енергії. Реалізація цифрових технологій в Україні в рамках виконання даної роботи відповідає основним напрямкам цифровізації електроенергетики країн ЄС.

Робота **"Цифрова трансформація електроенергетики України в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення"** є вагомим внеском у розвиток науково-технічного підґрунтя актуальної трансформації електроенергетичного сектору України. Авторами запропоновано комплексне бачення побудови електроенергетики нового покоління, що базується на цифровізації та впровадженні концепції "розумних мереж" відповідно до сучасних викликів та міжнародних тенденцій. Розроблені методи цифрового моніторингу, прогнозування та автоматизованого керування процесами в енергосистемах дозволяють значно підвищити стійкість, оперативність реагування та надійність функціонування електричних мереж в екстремальних умовах, сприяючи безперебійному енергозабезпеченню споживачів як у мирний час, так і в період воєнного стану та відбудови.

Особливо варто відзначити практичну реалізацію запропонованих рішень — у співпраці з операторами систем розподілу, виробниками та державними органами. Це свідчить про високий рівень прикладної цінності проведених досліджень і потенціал для подальшого масштабування запропонованих підходів.

Представлена робота авторського колективу охоплює широке коло сучасних проблем і викликів, що постають в електроенергетиці під час здійснення її цифрової трансформації як впровадження новітніх технологічних процесів у різних сегментах: від системоутворюючої мережі ОЕС України до активних споживачів, розподіленої генерації, локальних Smart Grid тощо. Слід відзначити опрацювання науково-теоретичних, техніко-економічних і нормативно-правових засад цифрової трансформації в умовах, пов'язаних із наслідками поточних руйнувань і пошкоджень окремих енергетичних об'єктів, напрямами їх повоєнного відновлення, адаптації та гармонізації з нормативними вимогами та системами моніторингу ЄС, інтеграції та синхронної роботи з ENTSO-E тощо.

Автори розробили комплексну техніко-економічну платформу для побудови української енергосистеми наступного покоління, що базується на передових технологіях цифровізації. Запропонована концепція впровадження Smart Grid підкріплена оригінальними методами, моделями та інструментами для інтелектуального моніторингу, оптимізації та взаємодії між виробниками та споживачами відновлюваної енергії на ринку електроенергії. Запропонована робота вирізняється системним баченням цифровізації енергетики: від створення техніко-економічної платформи Smart Grid 3.0 до впровадження національних стандартів і формалізованих бізнес-моделей ринку електроенергії.

Розроблені авторським колективом науково-технічні засади цифрової трансформації електроенергетики на основі врахування взаємної дії відновлюваних та традиційних джерел енергії, методи та засоби керування та балансування режимів енергосистем з ВДЕ, забезпечують оптимальні умови роботи електричних мереж та підключених до них електроспоживачів, що є запорукою ефективності

використання енергії. Вперше створено архітектури багаторівневого моніторингу, методи управління балансом споживання та генерації, з урахуванням інтеграції відновлюваних джерел енергії та попиту з боку споживачів. Важливо відзначити, що дослідження охоплює не лише технічний аспект, а й нормативно-правове підґрунтя цифровізації енергетики, що робить запропоновані рішення вкрай релевантними для масштабного впровадження. Розробка пілотних проектів, таких як система глобального моніторингу WAMS та Smart-моніторинг, свідчить про практичну спрямованість дослідження.

Так, авторами здійснено науково-технічне обґрунтування доцільності використання в Україні систем WAMPAC з метою вирішення проблем підключення ВДЕ, інтегрування розподілених засобів керування, які реагують у режимі реального часу та надають системним оператором ситуаційну обізнаність, необхідну для реагування на збої в енергосистемі. Запропоновано науково-технічне обґрунтування застосування Smart-моніторингу електроенергетичної системи середньої та низької напруги, що розглядається як нова якість у прийнятті управлінських рішень, тобто як комплексний та системний моніторинг, що на сучасному інноваційному рівні забезпечує спостереження поточної технологічної та економічної ефективності функціонування елементів системи та системи в цілому. Особливо варто відзначити високий рівень прикладної реалізації, зокрема цифрових АСУ ТП для підстанцій 750 кВ.

Розглянуто проблему балансування потужності та електроенергії в ЛЕС, в яких споживання електроенергії та її генерування відновлюваними джерелами енергії співрозмірні між собою. Розроблена нормативно-правова база є важливим кроком у створенні сприятливого середовища для впровадження передових технологій та залучення інвестицій. Робота успішно поєднує стратегічні аспекти, пов'язані з розвитком нормативно-правової бази, з практичними рекомендаціями для подолання технічних викликів.

Як вагомий елемент успішної реалізації наробок авторів є широке залучення споживачів до оптимізації власного енергоспоживання, зокрема, за рахунок їх активної поведінки (власної генерація електроенергії з використанням ВДЕ та керування попитом на електроенергію).

Більш того, на сьогодні особливо важливим є підготовка нового покоління фахівців у галузі енергетики, які матимуть поглиблені знання сучасних цифрових систем в енергетиці. Матеріали даної роботи лягли в основу при розробленні навчальних курсів, які було впроваджено у навчальний процес за спеціальністю G3 "Електрична інженерія", зокрема, для магістрів — "Системи ринків електричної енергії", "Оптовий та роздрібний ринок електричної енергії", "Цифрова трансформація електроенергетичних систем та комплексів", "Енергоефективні Smart Grid технології", "Перспективні Smart енергосистеми", "Інтелектуальні системи в енергетиці", "Системи силової електроніки та засоби керування в електроенергетиці".

Вражає і розмір очікуваного економічного ефекту — понад 260 млн грн на етапі впровадження та до 3 млрд грн при масштабуванні на п'ятирічному горизонті. Однак потенціал масштабування цих рішень дозволяє отримати ще більший економічний ефект для України, особливо в контексті післявоєнного відновлення.

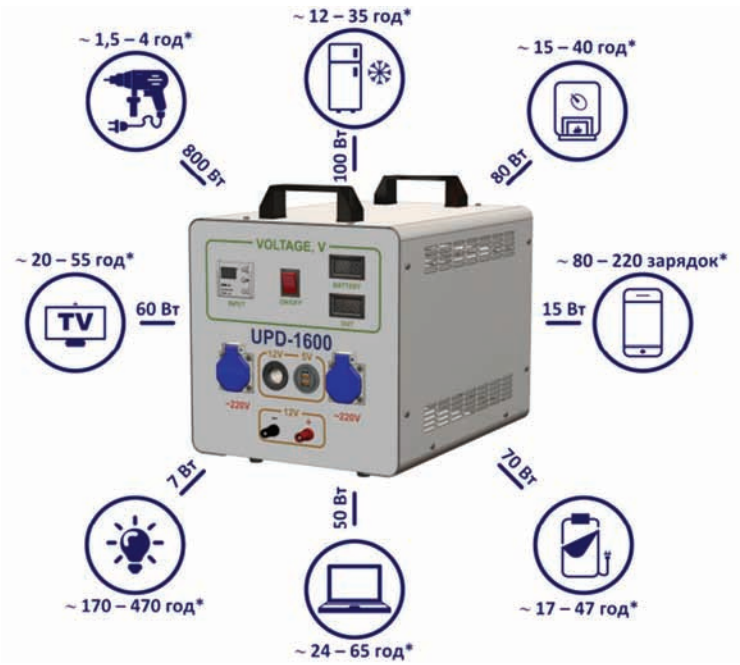
Отже, представлена робота формує системне бачення цифрової трансформації ОЕС України, яке може бути практично використано в рамках оновлення стратегічних документів розвитку енергетичного сектору та реалізації дорожньої карти модернізації електроенергетичної інфраструктури. У представленій роботі окреслено стратегічно важливий вектор розвитку електроенергетичного сектору України в умовах повоєнної відбудови, де ключовим чинником виступає цифрова трансформація. Представлені результати вносять вагомий внесок у підвищення надійності, економічної ефективності та сталого розвитку енергосистеми України.

Робота "Цифрова трансформація електроенергетики України в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення" є глибоким, вагомим, науково обґрунтованим і стратегічно важливим внеском у розвиток національної енергетичної безпеки в умовах воєнного стану та під час післявоєнного відновлення електроенергетики України. Робота є, без сумніву, актуальною, інноваційною та заслуговує на всебічну підтримку, а її авторський колектив може бути рекомендований до відзначення Національною премією України імені Бориса Патона.

**Виконуємо розрахунки рівня електромагнітного поля промислової частоти будь-якої складності на електромережевих об'єктах (ЛЕП, РУ ПС та електростанцій, промислових та комунальних підприємствах). Проводимо відповідні вимірювання.**

**E-mail: krasnozhon08@gmail.com**
**Тел.: +38 066 612 14 87**

# ПОТУЖНА ЗАРЯДНА СТАНЦІЯ UPD-1600




**Д.Г. КОЛІУШКО, А.В. ПЛІЧКО,
С.С. РУДЕНКО, О.Є. ІСТОМІН**

Харківськими вченими розроблено та запущено у виробництво зарядну станцію (пристрій безперебійного живлення) UPD-1600. Пристрій повністю автоматичний, що працює за принципом “УВІМКНУВ І ЗАБУВ”. Вихідна напруга живлення: 5 В та 12 В постійного струму і 220 В змінного струму.

**UPD-1600 є компактним, мобільним, екологічночистим, чудовим рішенням для забезпечення резервного живлення. Вбудована інвертнорна система з генерацією ідеальної синусоїди живиться від сучасного літій-залізо-фосфатного (LiFePO4) акумулятору та утворює надійний вузол для забезпечення автономного живлення будь-яких електроприладів квартир, офісів, магазинів, медичних та косметологічних кабінетів тощо.**

Крім того, у випадку особливих вимог до ємності та вихідної потужності зарядної станції, а також умовами підключення можливим є індивідуальна комплектація, включно з установкою на Вашому об’єкті.

## ПЕРЕВАГИ ПРИСТРОЮ

### Автоматична робота

Не доведеться розбиратися в тому, як його підключити — на відміну від генератора пристрій не передбачає ніяких складнощів в цьому питанні. Працює за принципом "ввімкнув і забув". Може бути вбудований в мережу приміщення.

### Надійність та безпека при роботі

Якісні компоненти та монтаж забезпечують надійну роботу пристрою на протязі його використання. Конструкція забезпечує електробезпеку при роботі.

### Захист від коливань напруги

Встановлення реле гарантує захист від стрибків напруги мережі підключених до пристрою приладів.

### Чиста синусоїда

Форма вихідної напруги дозволяє живити всі без винятку електроприлади (будь-які котли, холодильник, насос, дрібна побутова техніка).

### Висока потужність

Можна одночасно заживити електроприлади загальною потужністю до 1,5 кВ.

### Потужний інвертор

Може забезпечити довготривале навантаження в 1.5 кВ, та пікове до 3 кВ.

### Робота від зовнішнього акумулятору

Є можливість приєднання додаткового акумулятору, що підвищує ємність UPD-1600, що дозволяє збільшити час автономної роботи.

### Зарядка від сонячної батареї/ автомобілю

Можна заряджати не тільки від мережі, а й від автомобільного акумулятору та сонячної панелі.

### Модульна структура

Створити пристрій за вашими потребами: необхідною ємністю аккумулятора за довготривалим та піковим навантаженням та інше.

### Багатопортовий вихід

Цей пристрій є потужним павербанком. Але він не обмежується лише зарядкою телефонів, планшетів та ноутбуків. Він дозволяє підключити різноманітні побутові прилади.

### Металевий корпус

Випускається у міцному металевому корпусі, який надійно захищає складові частини UPD-1600 від механічних пошкоджень.

### LiFePO4 акумулятор

Пристрій з LiFePO4 акумулятором має довший термін експлуатації та розряджається повільніше без навантаження. Також такі акумулятори можна швидко заряджати. LiFePO4 акумулятор термічно та хімічно стабільний, що істотно підвищує безпеку при експлуатації.

| **Загальні відомості** | |
|---|---|
| Ємність: А·год<br>Вт·год | 100–280<br>1000–3500 |
| Потужність, Вт | до 1000 — довготривале навантаження |
| Габаритні розміри, мм | 305×350×470 |
| Маса, кг | 20–35 |
| **Вихідні порти** | |
| 220 В, 50 Гц | 2 шт. |
| 5 В (USB) | Type A — 2 шт.; Type C — 1 шт. |
| 12 В | “припалювач” |
| 12 В | клеми |
| **Вхідні порти** | |
| 220 В, 50 Гц | 1 шт. |
| 12 В | клеми |

| **Інформація про акумулятор** | |
|---|---|
| Хімічний склад елемента живлення | LiFePO4 |
| Циклічний ресурс, не менше | 4000 циклів |
| **Робоча температура навколишнього середовища** | |
| Оптимальна робоча температура | від 15°C до 30°C |
| Температура зберігання | від –20°C до 45°C<br>(оптимально: від 15°C до 30°C) |
| **Додаткові відомості** | |
| Зовнішній акумулятор | підтримується (не постачається) |
| Сонячна батарея | підтримується (не постачається |

## ДЛЯ ЗАМОВЛЕННЯ АБО УТОЧНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРОСИМО ЗВ’ЯЗУВАТИСЯ:

**Денис КОЛІУШКО,** ст. наук. співробітник НТУ “ХПІ”,
тел. +380 68 880 99 47, e-mail: denny4791@gmail.com

Надійшла
Received 19.05.2025

# НОВА РЕДАКЦІЯ “НАСТАНОВИ З ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ” 2025 РОКУ

**С.В. Облакевич,**
Член робочої групи з розгляду питань нормативного забезпечення проєктування та будівництва Науково-технічної ради Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України, головний фахівець Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського

На початку 2025 року, незважаючи на економічні, політичні і воєнні завади, за завданням Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України, завершено розробку та передано до друку нову редакцію **“Настанови з проєктування електропостачання промислових підприємств”**.

Розробники вдячні всій інженерній спільноті, яка долучилася до цієї роботи в частині зауважень, пропозицій та коментарів, з яких можна відзначити:

- НЕК “Укренерго”
- Державна служба України з надзвичайних ситуацій
- АТ “Укрзалізниця”
- ГО “Міжнародна рада з великих електроенергетичних систем СІГРЕ в Україні”

Обговорення з інженерами-проєктувальниками (щодо розділу електропостачання) також проводилось у мережі Інтернет, на сторінках науково-технічного виробничо-практичного інформаційного збірника **“Промислова електроенергетика та електротехніка”**.

## ІСТОРИЧНИЙ ЕКСКУРС

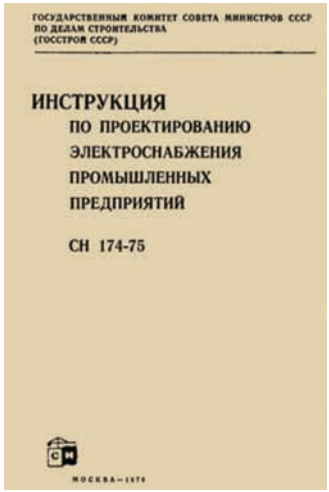
В історії нормування питань з проєктування електропостачання промислових підприємств в нашій країні можливо виділити наступні періоди:

**1. До другої світової війни (1921–1937 рр.):** видання норм, правил безпеки та правил улаштування електроустановок з сильними робочими струмами для низьких та високих напруг, які регламентували виключно електротехнічні установки без поділу на застосування в залежності від галузі народного господарства;

**2. Після другої світової війни:** в 1955 році була створена система проєктування в країні, коли Держбуд СРСР розробив та впровадив “Будівельні норми та правила” (СНиП), що складалися з чотирьох частин:

1) “Будівельні матеріали, вироби, конструкції та обладнання”;
2) “Норми будівельного проєктування”;
3) “Організація та технологія будівельного виробництва”;
4) “Кошторисні норми”.

Особливістю цього етапу було те, що всі проєкти розроблялися великою кількістю проєктних організацій (контор) та інститутів, які належали галузевим мініс-




терствам та відомствам. З 1962 року їх кількість було скорочено, вони були укрупнені та передані до складу Держбуду, а **Тяжпромелектропроект (Москва, Харків)** став головним інститутом з проєктування електропостачання та електрообладнання промислових підприємств та установок автоматизованого електроприводу. Саме Тяжпромелектропроект розробив СН 174-67 "Указания по проектированию электроснабжения промышленных предприятий" [1], які в подальшому було оновлено в 1974 році прийняттям СН 174-75 [2].

**3. З часу проголошення незалежності України** в 1991 році норми СН 174-75 використовувалися як діючі до 2015 року, коли було прийнято стандарт **ДСТУ-Н Б В.2.5-80 "Настанова з проєктування систем електропостачання промислових підприємств"** [3].

## РОЗВИТОК НОРМУВАННЯ ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Слід зазначити, що **ДСТУ-Н Б В.2.5-80** в більшості положень повторює норми **СН 174-75** [2], до яких, для зручності проєктувальників, було додано методику розрахунку електричних навантажень промислових підприємств **РТМ 36.18.32.4** [4].

Але сучасні умови розвитку України не тотожні умовам відновлення та розвитку промисловості СРСР після другої світової війни, коли проєктувалися величезні індустріальні підприємства, наприклад: Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча (встановлена електрична потужність близько 200 МВт), Магнітогорський металургійний комбінат "Магнітка" (встановлена електрична потужність близько 200 МВт) тощо, на користь всієї величезної країни-імперії.

**В зв'язку з цим, зберігаючи мету норм, при розробці нової редакції НД вирішувалися та уточнювалися наступні питання:**

**1.** Класифікації промислових підприємств за електричною потужністю;

**2.** Участь підприємств у графіках обмеження споживання електричної енергії в умовах виникнення аварійних ситуацій системи і аварійного розвантаження системи;

**3.** Можливість використання власних джерел живлення — власних автономних електростанцій;

**4.** Вимоги до схем і обладнання підстанцій промислових підприємств та систем диспетчеризації, релейного захисту і автоматики управління з урахуванням технічної політики НЕК Укренерго;

**5.** Оновлення та введення нових, гармонізованих з європейськими, норм і стандартів.

## КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ЗА ЕЛЕКТРИЧНОЮ ПОТУЖНІСТЮ

Прийнята за часів СРСР класифікація промислових підприємств за електричною потужністю споживання, коли великими підприємствами вважалися з установленою потужністю 100 МВт і більше, а середніми — з установленою потужністю 5–75 МВт, безумовно застаріла. Згідно **матеріалів інтернету** [5] та **статистичних збірників** [6] за останні 20 років в Україні було збудовано близько 240 промислових підприємств, переважно в галузі переробки продукції сільського господарства, з яких тільки одне — електросталеплавильний комплекс "Інтерпайп Сталь" ("Дніпросталь", 2012 р.) має встановлену потужність близько 75 МВт.

Тому автори нової редакції НД ввели новий реальний поділ (з точки зору електропостачання) промислових підприємств в залежності від встановленої потужності на:

а) **малі** — з установленою потужністю **до 5 МВт** включно;
б) **середні** — з установленою потужністю **від 5 МВт до 20 МВт** включно;
в) **великі** — з установленою потужністю **вище 20 МВт**.

## УЧАСТЬ ПІДПРИЄМСТВ У ГРАФІКАХ ОБМЕЖЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Воєнний стан в України висвітлив проблему, яка за часів СРСР для промислових підприємств, взагалі не існувало — аварійні ситуації системи централізованого електропостачання і аварійне розвантаження енергосистеми з відключенням споживачів електричної енергії.

Прийнятий Кодекс систем розподілу [7] та низка стандартів [8, 9, 10] розглядають питання для умов виникнення аварійних ситуацій системи і аварійного розвантаження системи, участь споживача у графіках обмеження споживання електричної енергії за допомогою відключення або часткового розвантаження потужних електроприймачів, які допускають без значних економічних втрат для технологічного режиму перерви або обмеження в подачі електроенергії, що знайшло відображення в нової редакції НД.

## МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВЛАСНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Воєнний стан в України потребує використання можливості використовувати промисловими підприємствами власних автономних електростанцій.

Для чого в НД введено положення щодо можливості їх застосування та роботи паралельно з мережею оператора (ОСР, ОСП). Також слід зазначити, що автономні електростанції (включно з ФЕС, ВЕС), що передбачають роботу паралельно з мережею оператора (ОСР, ОСП) мають відповідати вимогам ДСТУ EN 50549-2, СОУ НЕК 341.001 [11, 12].

## ВИМОГИ ДО СХЕМ І ОБЛАДНАННЯ ПІДСТАНЦІЙ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ, РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ І АВТОМАТИКИ УПРАВЛІННЯ

Технічна політика НЕК Укренерго відображено в низці вимог до схем електричних, складу і технічних характеристик обладнання підстанцій промислових підприємств та систем диспетчеризації, релейного захисту і автоматики управління електрогосподарством [13, 14, 15, 16, 17], що знайшло відображення в положеннях нової редакції НД.

## ГАРМОНІЗАЦІЯ З ЄВРОПЕЙСЬКИМИ НОРМАМИ І СТАНДАРТАМИ

В новій редакції проєкту ДСТУ слід оновити гармонізовані з європейськими наступні норм і стандарти:

ДСТУ EN 50160:2023 (EN 50160:2022, IDT) Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності

ДСТУ EN 50549-2:2022 (EN 50549-2:2019, IDT) Вимоги до генерувальних установок, які підключають паралельно до розподільних мереж. Частина 2. Підключення до розподільної мережі середньої напруги. Електростанції до типу B включно

ДСТУ EN IEC 60076-11:2022 (EN IEC 60076-11:2018, IDT; IEC 60076-11:2018, IDT) Силові трансформатори. Частина 11. Трансформатори сухого типу

ДСТУ IEC 60076-12:2016 (IEC 60076-12:2008, IDT) Трансформатори силові. Частина 12. Настанова щодо навантаження для трансформаторів сухого типу

ДСТУ EN IEC 60076-24:2022 (EN IEC 60076-24:2020, IDT; IEC 60076-24:2020, IDT) Силові трансформатори. Частина 24. Технічні характеристики розподільних трансформаторів, що регулюють напругу (VRDT)

ДСТУ IEC 60502-2:2023 (IEC 60502-2:2014, IDT) Кабелі силові з екструдованою ізоляцією й арматура до них на номінальну напругу від 1 кВ ($U_m$=1,2 кВ) до 30 кВ ($U_m$=36 кВ). Частина 2. Кабелі на номінальну напругу від 6 кВ ($U_m$=7,2 кВ) до 30 кВ ($U_m$=36 кВ)

ДСТУ IEC 60840:2021 (IEC 60840:2020; COR1:2021, IDT) Кабелі силові з екструдованою ізоляцією та арматура до них на номінальну напругу понад 30 кВ ($U_m$=36 кВ) і до 150 кВ ($U_m$=170 кВ) включно. Вимоги та методи випробування

ДСТУ EN 60204-1:2019 (EN 60204-1:2018, IDT; IEC 60204-1:2016, MOD) Безпечність машин. Електричне устаткування машин. Частина 1. Загальні вимоги

ДСТУ EN 60255-151:2018 (EN 60255-151:2009, IDT; IEC 60255-151:2009, IDT) Реле вимірювальні та захисне обладнання. Частина 151. Функціональні вимоги до захисту від максимального/мінімального струму

ДСТУ IEC/TR 60870-1-1:2007 Пристрої та системи телемеханіки. Частина 1. Загальні положення. Розділ 1. Основні принципи (IEC/TR 60870-1-1:1988, IDT)

ДСТУ IEC 60870-5-101:2014 Пристрої та системи телемеханіки. Частина 5-101. Протоколи передавання. Додатковий стандарт щодо основних завдань телемеханіки (IEC 60870-5-101:2003, IDT)

ДСТУ IEC 60870-5-104:2014 Пристрої та системи телемеханіки. Частина 5-104. Протоколи передавання. Доступ до мережі згідно з IEC 60870-5-101 із використанням стандартних профілів передавання даних (IEC 60870-5-104:2006, IDT)

ДСТУ EN 60909-0:2022 (EN 60909-0:2016, IDT; IEC 60909-0:2016, IDT) Струми короткого за-микання в трифазних системах змінного струму. Частина 0. Розрахунок струмів

ДСТУ IEC TR 60909-4:2008 Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Обчислення сили струму короткого замикання (IEC TR 60909-4:2000, ITD)

ДСТУ EN 61000-2-4:2017 (EN 61000-2-4:2002, IDT; IEC 61000-2-4:2002, IDT) Електромагнітна сумісність (EMC) Частина 2-4. Електромагнітна обстановка. Рівні сумісності низькочастотних кондуктивних завад для промислових підприємств

ДСТУ EN 61000-4-30:2022 (EN 61000-4-30:2015, IDT; IEC 61000-4-30:2015, IDT) Електромагнітна сумісність (EMC). Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Методи вимірювання якості електроенергії

ДСТУ EN IEC 61000-6-2:2022 Електромагнітна сумісність (EMC). Частина 6-2. Загальні стандарти. Стандарт стійкості до промислових середовищ (EN IEC 61000-6-2:2019, IDT; IEC 61000-6-2:2016, IDT)

ДСТУ EN IEC 61439-1:2022 (EN IEC 61439-1:2021, IDT; IEC 61439-1:2020, IDT) Устаткування розподілення та керування комплектне низьковольтне. Частина 1. Загальні правила

ДСТУ EN IEC 61439-2:2022 (EN IEC 61439-2:2021, IDT; IEC 61439-2:2020, IDT) Устаткування розподілення та керування комплектне низьковольтне. Частина 2. Силове комплектне устаткування розподілення та керування

ДСТУ EN 61850-5:2022 (EN 61850-5:2013, IDT; IEC 61850-5:2013, IDT) Комунікаційні мережі та системи для автоматизації електроенергетичних підприємств. Частина 5. Технічні вимоги до функцій і моделей приладів

ДСТУ EN 62271-1:2018 (EN 62271-1:2017, IDT; IEC 62271-1:2017, IDT) Пристрої контрольні розподільчі високовольтні. Частина 1. Загальні технічні вимоги для пристроїв контрольних розподільчих високовольтних змінного струму

ДСТУ EN 62271-205:2016 (EN 62271-205:2008, IDT) Пристрої контрольні розподільчі високовольтні. Частина 205. Компактні розподільчі пристрої на номінальну напругу понад 52 кВ

ДСТУ EN IEC 62271-102:2022 (EN IEC 62271-102:2018, IDT; IEC 62271-102:2018:2016, IDT) Пристрої контрольні розподільні високовольтні. Частина 102.

Роз'єднувачі та уземлювальні перемикачі змінного струму

ДСТУ EN IEC 62271-200:2022 (EN IEC 62271-200: 2021, IDT; IEC 62271-200:2021, IDT) Пристрої контрольні розподільні високовольтні. Частина 200. Комплектні розподільні пристрої змінного струму в кожусі з металу, розраховані на номінальну напругу понад 1 кВ і до 52 кВ включно

ДСТУ EN 62305-3:2021 (EN 62305-3:2011, IDT; IEC 62305-3:2010, MOD) Блискавкозахист. Частина 3. Фізичні пошкодження будівель (споруд) та небезпека для життя

ДСТУ CLC IEC/TR 62541-1:2022 Уніфікована архітектура OPC. Частина 1. Огляд і поняття (CLC IEC/TR 62541-1:2021, IDT; IEC/TR 62541-1:2020, IDT)

ДСТУ EN IEC 62561-2:2019 (EN IEC 62561-2:2018, IDT; IEC 62561-2:2018, IDT) Компоненти системи блискавкозахисту (LPSC). Частина 2. Вимоги до провідників та уземлювальних електродів

ДСТУ EN IEC 62769-115-2:2022 Інтеграція польових пристроїв (FDI). Частина 115-2. Профілі. Modbus-RTU (EN IEC 62769-115-2:2020, IDT; IEC 62769-115-2:2020, IDT)

ДСТУ IEC TR 63097:2024 Дорожня карта із стандартизації розумних мереж (IEC TR 63097: 2017, IDT)

ДСТУ HD 605 S2:2015 Електричні кабелі. Додаткові методи випробування (HD 605 S2:2008; AC: 2010, IDT)

ДСТУ HD 632 S3:2022 (HD 632 S3:2016, IDT) Силові кабелі з екструдованою ізоляцією та аксесуари до них на номінальну напругу понад 36 кВ ($U_m$=42 кВ) до 150 кВ ($U_m$=170 кВ)

ДСТУ HD 60364-5-52:2021 (HD 60364-5-52:2011, IDT; IEC 60364-5-52:2009 modified + corri-gendum Feb. 2011) Низьковольтні електричні установки. Частина 5-52. Вибирання та монтування електричного устаткування. Системи електропроводки.

## ГОЛОВНІ ВІДМІННОСТІ НОВОЇ РЕДАКЦІЇ ДСТУ

**1. Класифікація промислових підприємств за електричною потужністю**

В новій редакції ДСТУ оновлено поділ (з точки зору електропостачання) промислових підприємств в залежності від встановленої потужності на:

а) **малі** — з установленою потужністю **до 5 МВт** включно;

б) **середні** — з установленою потужністю **від 5 МВт до 20 МВт** включно;

в) **великі** — з установленою потужністю **вище 20 МВт**.

**2. Участь підприємств у графіках обмеження споживання електричної енергії**

В новій редакції ДСТУ зазначено, що для умов виникнення аварійних ситуацій і аварійного розвантаження системи, промислові підприємства повинні передбачати участь у графіках обмеження споживання електричної енергії за допомогою відключення або часткового розвантаження потужних електроприймачів, відповідно до:

– Кодексу систем розподілу;
– ГКД 34.35.511-2002 Правила підключення електроустановок споживачів до спеціальної автоматики вимкнення навантаження (САВН);
– ГКД 34.35.108-2004 Керівні вказівки з протиаварійної автоматики енергосистем

**3. Можливість використання власних джерел живлення.**

В новій редакції ДСТУ введено положення щодо можливості використовувати промисловими підприємствами власних автономних електростанцій паралельно з мережею оператора (ОСР, ОСП). Така робота автономних електростанції (включно з ФЕС, ВЕС) виконується згідно вимог:

– ДСТУ EN 50549-2:2022 "Вимоги до генерувальних установок, які підключають паралельно до розподільних мереж. Частина 2. Підключення до розподільної мережі середньої напруги";
– СОУ НЕК 341.001:2019 "Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їх роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України".

**4. Вимоги до схем і обладнання підстанцій промислових підприємств та систем диспетчеризації, релейного захисту і автоматики управління**

В новій редакції ДСТУ врахована Технічна політика НЕК Укренерго (5 стандартів) до схем електричних, складу і технічних характеристик обладнання підстанцій промислових підприємств та систем диспетчеризації, релейного захисту і автоматики управління електрогосподарством

## ЗМІСТ НОВОЇ РЕДАКЦІЇ ДСТУ

ПЕРЕДМОВА
1. СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ
2. НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ
3. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ
4. ПОЗНАКИ ТА СКОРОЧЕННЯ
5. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ
6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ
7. СХЕМИ ЖИВЛЕННЯ
8. СХЕМИ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
9. СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ ПІДСТАНЦІЙ
10. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ НОМІНАЛЬНОЇ НАПРУГИ
11. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
12. ВИБІР ПІДСТАНЦІЙ І ТРАНСФОРМАТОРІВ
13. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ
14. ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЯ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ І АВТОМАТИКА, ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
15. РОЗРАХУНКИ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ
16. ПЕРЕДАВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЕРИТОРІЯХ ПІДПРИЄМСТВ

ДОДАТОК А РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

БІБЛІОГРАФІЯ

**ТОВ “ТПФ Донтехпром”**

ЄДРПОУ 39530665
69118, м. Запоріжжя,
вул. Автозаводська, 50, офіс 147
+380 50 470 18 38

**kozenko@3g.ua**
**www.dontechprom.ua**

# ПОНАД 1300 ПРОЄКТІВ ЗА 25 РОКІВ

# Донтехпром

Керуючись принципами інноваційності, ТОВ “ТПФ Донтехпром” постійно вдосконалює всі аспекти своєї діяльності, використовуючи передові технологічні рішення та нові розробки.

Підприємство є успішною компанією, що динамічно розвивається, з року в рік незмінно підтверджує високий статус лідера, що розширює сферу діяльності та нарощує свій потенціал.

**“БЕРДЯНСЬКА” ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ**

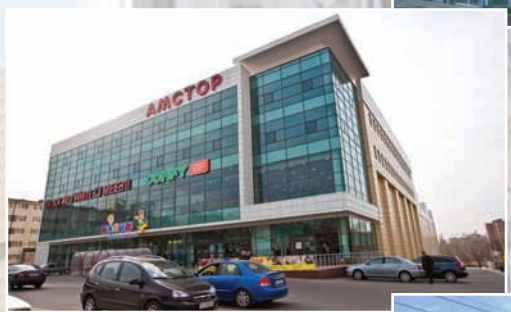
потужністю **150 МВт**,
Бердянський район
Запорізької області

**Проєкт будівництва вітрової електростанції “ВІНД ФАРМ” потужністю 800 МВт у Донецькій області**

**“КУРАХОВСЬКА” ТЕС**

м. Курахове
Донецької області

**ЦЕХА ЛУТУГІНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО НАУКОВО-ВИРОБНИЧОГО ВАЛКОВОГО КОМБІНАТУ**




**ТОРГОВА МЕРЕЖА СУПЕРМАРКЕТІВ “АМСТОР”**

36 торгових центрів загальною площею близько **800 000 м²** у містах:

Київ, Донецьк, Запоріжжя, Миколаїв, Маріуполь, Сєвєродонецьк, Кременчук, Мелітополь, Краматорськ, Горлівка, Святогірськ, Єнакієве, Макіївка, Ясинувата

**ТОРГОВО-РОЗВАЖАЛЬНИЙ ЦЕНТР ТОВ “ДОНЕЦЬК-СІТІ-ЦЕНТР” З БАГАТОРІВНЕВИМ ПАРКІНГОМ ТА АДМІНІСТРАТИВНИМ БУДИНКОМ**

вул. Артема,
Київський район, Донецьк.
Загальна площа близько **115 000 м²**

IX МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

# НАФТОГАЗ ЕКСПО 2025

**14–16 жовтня**

**МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**

**Київ, Броварський пр-т, 15**
**тел.: + 38 (066) 921-47-51**
**e-mail: sher@iec-expo.com.ua**
**www.iec-expo.com.ua**

XXII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

# ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВОСТІ '2025

## 14–16 ЖОВТНЯ

**МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**
**м. Київ, Броварський пр-т, 15**


+38 (095) 268-05-84
lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua